



Andreia Sofia Sabugueiro Soares

Licenciada em Engenharia Civil

Análise Experimental das Condições de Escoamento Superficial em Zonas Urbanas na Presença de Viaturas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Prof. Doutor António Pedro de Nobre Carmona
Rodrigues, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor David José Fonseca Pereira
Arguente: Prof. Doutor António Jorge Silva Guerreiro Monteiro
Vogal: Prof. Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro de 2014



Análise Experimental das Condições de Escoamento Superficial em Zonas Urbanas na Presença de Viaturas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Prof. Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues,
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Andreia Sofia Sabugueiro Soares

Licenciada em Engenharia Civil

Outubro de 2014

Análise Experimental das Condições de Escoamento Superficial em Zonas Urbanas na Presença de Viaturas

Copyright Andreia Sofia Sabugueiro Soares, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL).

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A finalização desta dissertação marca o fim de mais uma etapa da minha vida, por isso gostaria de agradecer a todos os que contribuíram, direta ou indiretamente, para a sua realização.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Antônio Carmona Rodrigues, pela oportunidade de poder realizar a tese de mestrado sob a sua orientação e pela disponibilidade e esclarecimentos prestados.

Ao Rúben Ferreira e ao Manuel Almeida do laboratório de hidráulica Professor Armando Lencastre, pelo apoio prestado durante a realização da parte prática do trabalho.

Agradeço ao Zé, por toda a ajuda oferecida na realização de muitos ensaios e pelos cafés descontraídos a meio da manhã.

À Bárbara, à Joana e à Sara agradeço por todo o companheirismo e pelas longas conversas durante os últimos dois anos.

Aos meus amigos: Ana, Leandro, Zito e Jorge, por toda a amizade, a atenção e o incentivo transmitidos mesmo à distância.

Ao Pedro por toda a amizade, companheirismo e paciência que me dedicou.

Por último, agradeço aos meus pais e irmã, pelo apoio incondicional, compreensão, carinho e encorajamento ao longo desta dissertação.

A todos o meu profundo e sincero agradecimento.

Resumo

As cheias em zonas urbanas representam um fenómeno natural que parece ocorrer cada vez com mais frequência, provocando muitas vezes a inundação de caves, estações de metropolitano e, em alguns casos extremos, a perda de vidas humanas. Estas cheias ocorrem quando os sistemas artificiais de recolha de águas pluviais deixam de ter capacidade de vazão suficiente para os caudais afluídos e parte do escoamento começa a fazer-se à superfície.

Deste modo, o objetivo principal deste trabalho consiste na avaliação da influência que o grau de obstrução, causado pela presença de viaturas nas vias públicas, tem no agravamento das alturas de água nos arruamentos.

Para isso, foram realizados ensaios laboratoriais num modelo à escala 1:12, nos quais se procurou simular as condições reais de escoamento de caudais de cheia, em vias urbanas. Os ensaios foram feitos para 20 cenários, para os quais se combinaram diferentes quantidades e disposições de veículos, a que correspondem diferentes graus de obstrução ao escoamento. Durante as medições das alturas de água, em todos os cenários, fizeram-se variar as inclinações do fundo entre 0,005 e 0,030 m/m para uma gama de caudais compreendida entre 10 e 40 m³/h.

Posteriormente, com os valores das medições obtidas, inferiram-se quais os cenários mais críticos, ou seja, quais as situações onde se observaram maiores incrementos nas alturas de água de escoamento nos arruamentos. A partir da variação entre as alturas de escoamento do cenário base, sem a presença de veículos, e as alturas dos diferentes cenários com obstáculos, obtiveram-se as sobrelevações da altura de água, tanto em valor absoluto como em valor relativo.

Por fim, mas não menos importante, procurou-se obter padrões e consequentemente relações entre os diversos parâmetros em estudo, principalmente a relação entre a percentagem de obstrução e a sobrelevação da altura de água nos arruamentos. Da análise dos resultados obtidos procurou-se por último extrair conclusões e tecer algumas recomendações tendo em vista a minimização de algumas consequências deste tipo de situações extremas.

Palavras-chave: cheias em zonas urbanas; inundações; escoamento pluvial; escoamento superficial; precipitações intensas.

Abstract

Flooding in urban areas became an increasingly frequent natural phenomenon that often causes the inundation of basements, underground stations and in some extreme cases, the loss of human lives. These floods occur when the artificial stormwater collection systems reach the limit capacity for flow surged and part of the flow begins to occur in free surface.

The main objective of this work was to evaluate the influence caused by the obstruction resultant by the presence of vehicles on public roads, has on the worsening of the water height on the streets.

Therefore, laboratory tests were performed in a 1:12 scale model, in which the real conditions of flood flows on urban roads were simulated. The tests were made for 20 scenarios; in each scenario different quantities and dispositions of the vehicles were combined, corresponding to a different obstruction of the flow rate. During the water height tests, in all scenarios, the bottom slope from 0,005 to 0,030 m/m and a range of flow rates between 10 and 40 m³/h were used.

The results allowed to infer which scenarios appeared more critical, i.e., in which situations a greater increase on water height in the street was observed. From the variation between the water height of basis scenario (without vehicles) and scenarios with vehicles, absolute and relative values of water height superelevation were obtained.

Finally, patterns and relationships between the various parameters under study were established, mainly the relation between the obstruction rate and the superelevation of the water height in the streets. Overall, the results obtained allowed to extrapolate some recommendations that could be implemented in order to minimized some consequences of flooding in urban areas under extreme situations.

Keywords: flooding in urban areas; floods; stormwater; runoff; intense rainfall.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

Agradecimentos.....	III
Resumo	V
Abstract.....	VII
Índice de Matérias	IX
Índice de Figuras	XI
Índice de Quadros	XV
PARTE I – INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do tema	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura da dissertação.....	4
PARTE II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Escoamentos com superfície livre.....	6
2.1.1 Regime uniforme	6
2.1.2 Regime permanente	7
2.1.2.1 Regime permanente gradualmente variado.....	7
2.1.2.2 Regime permanente rapidamente variado	8
2.1.2.3 Singularidades e obstruções	9
2.2 Escoamentos com superfície livre de caudais de cheia em zonas urbanas.....	10
2.2.1 Aspetos gerais.....	10
2.2.2 Modelos “MIKE Urban” e “MIKE Flood”	11
PARTE III – METODOLOGIA.....	13
3.1 Análise teórica	14
3.1.1 Enquadramento geral.....	14
3.1.2 Determinação do coeficiente de rugosidade (K_s).....	14
3.1.3 Teoria da semelhança.....	16
3.1.4 Número de Froude (F_r).....	18
3.1.5 Ressalto hidráulico	18
3.1.6 Perdas de carga	20
3.2 Análise experimental	21
3.2.1 Descrição geral do laboratório	21

3.2.2 Descrição do modelo reduzido.....	22
3.2.3 Descrição do equipamento de medição de alturas de água.....	22
3.2.4 Descrição dos ensaios	23
3.2.5 Limitações	23
3.3 Análise e discussão de resultados	24
3.3.1 Observações gerais	24
3.3.2 Análise individual dos cenários	25
 PARTE IV – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	 73
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 81
 ANEXOS.....	 83

ÍNDICE DE FIGURAS

PARTE II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
Figura 2.1 – Representação de um canal com superfície livre	6
Figura 2.2 – Regime uniforme	6
Figura 2.3 – Regime permanente gradualmente variado.....	8
Figura 2.4 – Regime permanente rapidamente variado.....	9
PARTE III – METODOLOGIA.....	13
Figura 3.1 – Relação entre valores de K_s e alturas de água para várias inclinações e caudais	16
Figura 3.2 – Representação do ressalto hidráulico numa secção retangular.....	19
Figura 3.3 – Ressalto ondulado.....	19
Figura 3.4 – Ressalto fraco	19
Figura 3.5 – Ressalto oscilante	19
Figura 3.6 – Perfil do escoamento em presença de obstáculo	20
Figura 3.7 – Planta do escoamento em presença de dois obstáculos.....	21
Figura 3.8 – Equipamento de medição de alturas de água, modelo: “Lhndahl DST_PVC”	22
Figura 3.9 – Gráfico de cenário base (sem obstáculos)	25
Figura 3.10 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h1	26
Figura 3.11 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h1	26
Figura 3.12 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h1	27
Figura 3.13 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h1	27
Figura 3.14 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h2.....	28
Figura 3.15 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h2.....	29
Figura 3.16 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h2	29
Figura 3.17 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h2	30
Figura 3.18 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h3.....	31
Figura 3.19 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h3.....	31
Figura 3.20 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h3	32
Figura 3.21 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h3	32
Figura 3.22 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h4.....	33
Figura 3.23 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h4.....	34
Figura 3.24 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h4	34
Figura 3.25 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h4	35
Figura 3.26 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h5.....	36
Figura 3.27 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h5.....	36
Figura 3.28 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h5	37
Figura 3.29 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h5	37
Figura 3.30 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h6.....	38

Figura 3.31 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h6	39
Figura 3.32 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h6	39
Figura 3.33 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h6	40
Figura 3.34 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h7	41
Figura 3.35 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h7	42
Figura 3.36 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h7	42
Figura 3.37 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h7	43
Figura 3.38 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h8.....	44
Figura 3.39 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h8.....	44
Figura 3.40 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h8	45
Figura 3.41 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h8	45
Figura 3.42 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h9.....	46
Figura 3.43 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h9.....	47
Figura 3.44 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h9	47
Figura 3.45 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h9	48
Figura 3.46 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h10...	49
Figura 3.47 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h10.....	49
Figura 3.48 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h10	50
Figura 3.49 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h10	50
Figura 3.50 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h11...	51
Figura 3.51 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h11.....	52
Figura 3.52 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h11	52
Figura 3.53 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h12...	53
Figura 3.54 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h12.....	54
Figura 3.55 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h12	54
Figura 3.56 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h13...	55
Figura 3.57 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h13.....	56
Figura 3.58 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h13	56
Figura 3.59 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h13	57
Figura 3.60 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h14...	58
Figura 3.61 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h14.....	58
Figura 3.62 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h14	59
Figura 3.63 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h15...	60
Figura 3.64 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h15.....	60
Figura 3.65 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h15	61
Figura 3.66 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h15	61
Figura 3.67 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h16...	62
Figura 3.68 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h16.....	63

Figura 3.69 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h16	63
Figura 3.70 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h16	64
Figura 3.71 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h17 ...	65
Figura 3.72 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h17	65
Figura 3.73 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h17	66
Figura 3.74 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h17	66
Figura 3.75 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h18...	67
Figura 3.76 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h18	68
Figura 3.77 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h18	68
Figura 3.78 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h19...	69
Figura 3.79 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h19	70
Figura 3.80 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h19	70

ÍNDICE DE QUADROS

PARTE IV – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	73
Quadro 4.1 – Relação entre classes de obstrução e tipo de regime de escoamento	74
Quadro 4.2 – Comportamento dos regimes de escoamento em função da variação do caudal e da inclinação.....	77
Quadro 4.3 – alturas de água, sobrelevações e percentagens de sobrelevação mínima e máxima, para cada cenário, em protótipo.....	77

PARTE I - INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

As cheias em zonas urbanas devem ser, cada vez mais, um motivo de preocupação para as entidades responsáveis pelo planeamento e gestão das infraestruturas dos meios urbanos ^[1,2]. Representam um dos fenómenos naturais mais recorrentes e estão muitas vezes associados a potenciais perdas de bens materiais e até mesmo de vidas humanas. São contudo um fenómeno hidrológico de natureza extrema e carácter sazonal, que ocorre sobretudo no período mais húmido do ano ^[2,3].

Apesar de os meios urbanos terem normalmente redes de coletores para a recolha e transporte das águas pluviais, estas são dimensionadas, por razões económicas, para períodos de retorno que, em geral, estão compreendidos entre 5 e 10 anos. A seleção de períodos de retorno baixos torna-se um problema se se tiver em consideração o desenvolvimento urbano e a consequente impermeabilização da bacia, que pode originar a redução da capacidade de vazão dos coletores existentes para chuvadas mais frequentes, associadas a períodos de retorno inferiores a 2 anos, o que por sua vez implica uma maior frequência de inundações urbanas ^[4]. Situação idêntica poderá ocorrer quando não se cuida de uma adequada manutenção da rede de coletores pluviais.

Assim, quando a rede de coletores não tem capacidade de vazão, o escoamento de parte dos caudais de cheia afluídos passa a ocorrer à superfície, ao longo de arruamentos e vias urbanas, sendo os valores das alturas da água escoadas agravadas caso haja a presença de obstáculos nas vias, como por exemplo veículos ^[5]. Tal situação tem ocorrido com uma frequência crescente em muitas partes do mundo. Para além de outro tipo de fenómenos, como por exemplo os que podem decorrer de alterações climáticas ou da subsidência dos terrenos, estas situações podem também ficar a dever-se ao facto de o número de veículos nas cidades ter mostrado tendência para aumentar nos últimos anos.

Quando os períodos de precipitação são moderados a elevados (dias, semanas) podem originar-se cheias de pequena intensidade e de formação lenta, mas quando as precipitações são intensas e de curta duração (minutos, horas) originam-se cheias de forte intensidade e de formação rápida ^[3,6]. Deverá também ser tido em conta o volume de precipitação que se encontra previamente acumulado nas redes de drenagem devido à precipitação verificada nos dias anteriores à ocorrência das chuvadas com grande intensidade, uma vez que podem diminuir, de forma significativa, a capacidade de resposta por parte dos sistemas de recolha de águas pluviais ^[7]. Ambos os tipos de precipitação podem provocar determinados valores de altura de água nas vias, os quais podem provocar alagamentos de zonas com cota inferior ao arruamento, como caves, parques de estacionamento ou estações de metropolitano, mas também outras zonas superficiais do espaço público.

Estes fenómenos meteorológicos extremos ocorrem praticamente todos os anos um pouco por todo o mundo, havendo com muita frequência, infelizmente, a perda de bens materiais ou mesmo de vidas humanas. Por isso, eleva-se a necessidade de se estudarem as consequências que as inundações podem provocar e implementar medidas preventivas que protejam as zonas de risco.

Em Portugal, entre 1960 e 2010, as inundações e cheias foram a catástrofe mais frequente ^[6]. Podem ocorrer três principais tipos de inundações, sendo apenas estudadas neste trabalho as

inundações urbanas, que se podem formar em apenas algumas dezenas de minutos, aquando da ocorrência de chuvadas fortes ^[5] e que ocorrem devido à sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais nos meios urbanos ^[6].

Na região de Lisboa, são recordadas as cheias de 25 e 26 de Novembro de 1967 pelos piores motivos. Apenas nesses dois dias foram contabilizadas, oficialmente, cerca de 400 vítimas mortais, muitas delas residentes em caves de construções em leito de cheia, e que acabaram por morrer afogadas ^[4]. Também nas cheias de 25 de Novembro de 1983 se verificou uma elevada perda de bens materiais, bem como a morte de cerca de uma dezena de pessoas, tendo sido estas inundações o impulso para a criação de medidas com mais consistência e continuidade ^[8]. Mais recentemente, em 2010, algumas estações do metropolitano de Lisboa, designadamente as do Rossio e de Sete-Rios, ficaram parcialmente inundadas porque as suas entradas se encontram em pontos baixos da bacia e sem proteção contra inundações, o que implicou a interrupção do funcionamento desta rede de transportes.

Contudo, as cheias em zonas urbanas não são só um problema grave em edificações do subsolo, mas são também responsáveis por danos e prejuízos vários, como a lentidão e/ou paralisação da circulação dos veículos e pessoas em arruamentos, como acontece em particular nas zonas mais baixas das cidades.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação consiste na avaliação e quantificação do efeito de obstrução causado pela presença de viaturas nas condições de escoamento de caudais de cheia, em particular no agravamento das alturas de água nos arruamentos.

Para tal, serão realizados ensaios laboratoriais, num modelo à escala 1:12, onde serão analisados vinte cenários, sendo cada cenário correspondente a uma disposição de veículos única, variando entre dois e dez a quantidade de veículos por cenário. A combinação entre a quantidade e disposição de obstáculos provoca diferentes graus de obstrução, sendo este parâmetro determinante para o agravamento da altura de água do escoamento. De forma a aumentar a variabilidade e o realismo dos cenários em estudo far-se-á variar a inclinação do fundo entre 0,005 e 0,030 m/m, para caudais escoado entre 10 e 40 m³/h. Assim, combinando os quatro parâmetros acima referidos (grau de obstrução, inclinação do fundo, caudal escoado e altura de água) proceder-se-á ao registo dos valores das alturas de água medidas e através da diferença entre a altura de água do cenário de referência e a de cada uma das medições, para a obtenção das sobrelevações das alturas de água, para cada simulação.

Com base nos resultados obtidos será feita uma análise para se perceber quais as combinações de parâmetros mais críticas e portanto as que provocam um maior agravamento das alturas de água.

Para cada cenário simulado, os resultados obtidos serão apresentados sob a forma gráfica, contendo tanto os dados dos casos de escoamento em regime lento como os de regime rápido, estando cada gráfico acompanhado de uma respetiva análise individual.

Por último, a partir da combinação de todos os dados estudados procurar-se-á obter um padrão que combine a classe de obstrução com o agravamento da altura da lâmina líquida.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação foi estruturada em três partes principais, sem incluir a presente introdução. Desta forma, procurou-se que os temas desenvolvidos estivessem agrupados de modo a permitir a melhor sequência dos passos metodológicos efetuados ao longo do trabalho.

A primeira parte a ser desenvolvida foi a revisão bibliográfica (parte II), essencialmente baseada na revisão de artigos e textos relacionados com escoamentos com superfície livre, com ênfase para a presença de obstáculos ao longo do escoamento. Apesar da pesquisa efetuada, houve dificuldades em obter artigos que combinassem o escoamento em superfície livre e a presença de obstáculos, como viaturas em zonas urbanas. Contudo, a revisão bibliográfica encontra-se dividida em dois tópicos, um primeiro no qual se abordam os tipos de regime de escoamento em superfície livre, dando-se maior importância ao regime permanente e à presença de singularidades e obstruções. O segundo tópico, mais direcionado para o assunto central do trabalho, incide em escoamentos com superfície livre de caudais de cheia em zonas urbanas, fazendo-se referência a dois importantes modelos de simulação de inundações urbanas.

Este trabalho prosseguirá com a metodologia (parte III) a qual está dividida em três tópicos, apresentados na mesma ordem que a realização dos trabalhos. O primeiro tópico apresentado refere-se à análise teórica no qual se apresentam o enquadramento geral, a determinação do coeficiente de rugosidade, a teoria da semelhança, o número de Froude, o ressalto hidráulico e, por fim, as perdas de carga. Neste tópico pretendem-se referir os principais parâmetros que influenciam os escoamentos com superfície livre. No segundo tópico, denominado análise experimental, estão apresentados e descritos todos os recursos utilizados para a realização da componente prática deste trabalho, incluindo a descrição geral do laboratório, a descrição do modelo reduzido, a descrição do equipamento de medição de alturas de água, a descrição dos ensaios e as limitações. Por último, apresentar-se-á o tópico da discussão dos resultados obtidos através da análise dos resultados laboratoriais. Este último tópico será iniciado com observações de ordem geral, seguindo-se a análise individual dos diferentes cenários e, por último, uma referência às limitações das experiências.

Este trabalho de dissertação será concluído com as conclusões (parte IV) referentes a todo o trabalho realizado, que incluirá também algumas recomendações para desenvolvimentos futuros neste domínio.

PARTE II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Escoamentos com superfície livre

Entre os diversos tipos de escoamento existentes, interessa para o presente estudo os escoamentos com superfície livre, portanto, aqueles onde uma parte do fluxo se encontra em contacto com a atmosfera ou outro meio gasoso ^[9,10,11,12].

Os escoamentos com superfície livre ocorrem por meio de canais, podendo estes ser cursos de água naturais como rios ou ribeiros, ou cursos de água artificiais, como canais e arruamentos ^[9,10,12].

Neste tipo de escoamento o caudal é conduzido por gravidade, ao contrário do que ocorre nos escoamentos em condutas onde o caudal se escoar em pressão ^[12].

Para o estudo deste tipo de escoamento recorre-se igualmente a três princípios fundamentais da Hidráulica, sendo eles as equações da continuidade, Bernoulli e Euler ^[13].

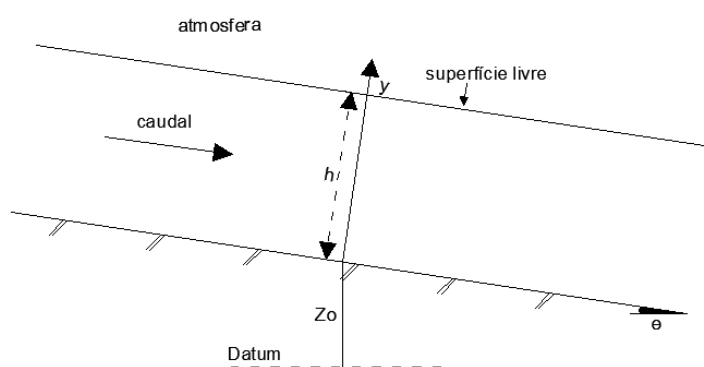


Figura 2.1 - Representação de canal com superfície livre (Adaptado de: Chanson, 1999).

2.1.1 Regime uniforme

Para que um escoamento ocorra em regime uniforme é necessário que se verifiquem algumas condições, tais como: altura de água, área molhada da secção transversal, velocidade e o caudal escoado por secção serem constantes; e a linha de energia e o perfil da superfície livre (que coincide com a linha piezométrica) serem retilíneos e paralelos ao fundo do canal. Portanto, o regime uniforme é um regime de equilíbrio, para o qual tende o escoamento dum dado caudal, num canal prismático (canal de secção constante com o percurso e rugosidade constante ao longo de cada geratriz). O canal tem que ser suficientemente longo para que a influência dos extremos (condições de fronteira externas) não se faça sentir no escoamento ^[9,11,12,13,14,15].

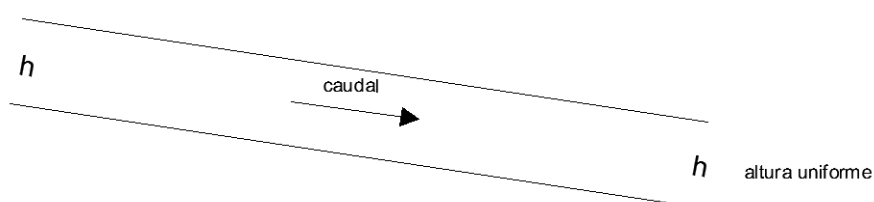


Figura 2.2 - Regime uniforme (Adaptado de: Felton, 2005).

A altura de água uniforme pode ser determinada através da aplicação de uma das equações de resistência empíricas, como a de Chézy ou a de Strickler. Normalmente, a expressão mais utilizada é a de Strickler, na qual se assume que $J = i = I$, sendo J a inclinação da superfície livre; i , a perda de carga unitária e; I , a inclinação do fundo do canal. Quando é necessário determinar a altura de água uniforme através de um processo iterativo considera-se a expressão empírica de Strickler adaptada ^[15]:

$$K_s * A * R^{\frac{2}{3}} = \frac{Q}{\sqrt{i}} \quad (2.1)$$

O primeiro membro desta igualdade é função da rugosidade (K_s) e da forma geométrica da secção e o segundo permite o cálculo da altura uniforme (h_u) ^[15].

Neste tipo de escoamento a perda de carga é totalmente compensada pelo declínio do fundo do canal, sendo que o valor é constante em qualquer secção e a linha de energia é paralela ao fundo do canal e à superfície livre ^[9,10,13,14,15].

Para escoamentos com velocidades altas não ocorre regime uniforme, pois nesta situação instala-se o regime instável, sendo neste caso a velocidade um fator determinante para o tipo de escoamento.

2.1.2 Regime permanente

Num escoamento onde o regime é permanente, o caudal pode manter-se ou variar de secção para secção ^[13]. Em alguns casos, este regime resulta da existência de uma singularidade, num troço do escoamento, que dá origem a uma perda de carga localizada e conseqüentemente à alteração da superfície livre ^[10,15]. Em ambos os casos o regime permanente pode ainda ser gradualmente variado quando os parâmetros hidráulicos variam de forma muito lenta de uma secção para outra ou rapidamente variado quando as características do escoamento variam de forma brusca e por isso ocupam, geralmente, uma zona relativamente pequena ^[10,11,13,15].

Devido à variabilidade espacial do regime permanente a análise deste escoamento torna-se mais complexa do que a análise do regime uniforme ^[10].

2.1.2.1 Regime permanente gradualmente variado

O escoamento gradualmente variado caracteriza-se pela alteração lenta, de secção para secção, das condições de escoamento ^[11]. As trajetórias neste regime são aproximadamente paralelas e retilíneas e a secção reta do escoamento é sensivelmente plana ^[11,13]. Pode-se considerar que num troço suficientemente curto o valor de i seja igual ao que se obteria caso o regime fosse uniforme, ou seja, a inclinação da linha de energia em cada secção é aproximadamente igual à inclinação da superfície livre ^[15].

Um escoamento permanente gradualmente variado designa-se por regolfo e o perfil longitudinal da superfície livre por curva de regolfo, existindo os seguintes tipos de regolfo:

- Regolfo em canais prismáticos com caudal constante;
- Regolfo em canais prismáticos com caudal variável no espaço;
- Regolfo em canais não prismáticos com caudal constante;
- Regolfo em canais não prismáticos com caudal variável no espaço. ^[13]

Como resultado de inclinações e curvatura da superfície livre muito pequenas, as curvas de regolfo existem nas seguintes formas:

- Canal de fraca inclinação: ($I < I_c$; $h_u > h_c$);
- Canal de forte inclinação: ($I > I_c$; $h_u < h_c$);
- Canal de inclinação crítica: ($I = I_c$; $h_u = h_c$);
- Canal horizontal: ($I = 0$; $h_u = \infty$);
- Canal contra inclinado: ($I < 0$) ^[10,11,16,17].

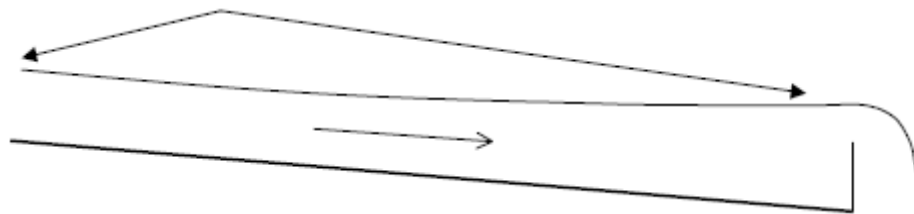


Figura 2.3 - Regime permanente gradualmente variado (Felton, 2005).

2.1.2.2 Regime permanente rapidamente variado

O escoamento rapidamente variado é caracterizado pela mudança brusca da secção líquida do escoamento. A curvatura das trajetórias deve ser considerada por estas não serem paralelas ao fundo do canal. A perda de energia originada neste regime tem de ser calculado entre duas secções extremas, pois existem bastantes diferenças entre este regime e o regime uniforme, não sendo possível aplicar as mesmas fórmulas para ambos ^[10,11,14].

Este tipo de regime ocorre sempre junto da singularidade que o provoca, originando rápida variação das condições de escoamento, com exceção do ressalto hidráulico ^[15]. O ressalto consiste na passagem brusca do regime rápido para o regime lento, podendo localizar-se num troço intermédio de um canal prismático, afastado da singularidade mais próxima ^[9,13]. Estas características fazem do ressalto hidráulico um caso particular e muito frequente no escoamento permanente rapidamente variado, que será abordado mais adiante neste trabalho.

Com exceção do ressalto, os escoamentos rapidamente variados ocorrem nas seguintes condições:

- Troços curtos, não associados a fenómenos de separação, como é o caso das mudanças de inclinação e dos descarregadores;
- Troços curtos, associados a fenómenos de separação, como é o caso dos alargamentos e estreitamentos;

- Ondas estacionárias oblíquas resultantes, por exemplo, de mudanças de direção.

Importa referir que os escoamentos rapidamente variados com separação, originam perdas de carga localizadas, e que a possível formação de ondas estacionárias oblíquas tornam a superfície irregular, dificultando a adequada definição das condições de escoamento ^[13].

O estudo do escoamento rapidamente variado é complexo a nível teórico, devido às condições supracitadas. Por isso, o estudo deste tipo de escoamento é essencialmente feito com base em procedimentos experimentais baseados nos princípios de semelhança e análise dimensional.

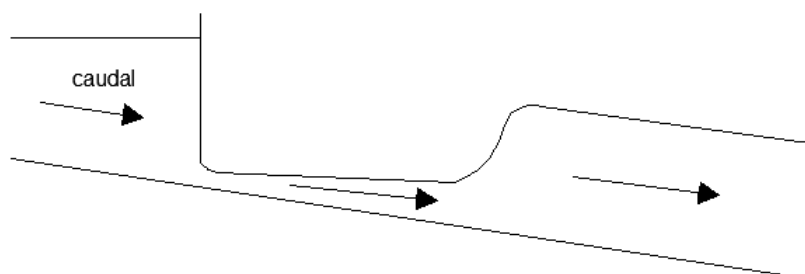


Figura 2.4 - Regime permanente rapidamente variado (Adaptado de: Felton, 2005).

2.1.2.3 Singularidades e obstruções

Considera-se singularidade a qualquer elemento físico (estreitamento, alargamento, etc.), presente num troço e que modifique as condições de escoamento ^[13].

Nos escoamentos com superfície livre, as singularidades provocam a alteração do regime uniforme estando associadas a perdas localizadas de energia ^[15].

Em canais longos, a singularidade origina uma perturbação que se mantém ao longo de um troço. Caso o canal seja suficientemente extenso, verifica-se quer a montante quer a jusante da singularidade, a existência do regime uniforme, sendo a perda total de energia, entre extremos, igual à que ocorreria caso não existisse a singularidade ^[15].

Desta forma, devido à complexidade que o padrão do escoamento assume, a perda localizada de energia nem sempre pode ser calculada apenas com o recursos a equações, sendo em algumas situações necessário recorrer a ensaios em modelo reduzido ^[15].

Também a presença de obstruções no escoamento livre apresenta efeitos semelhantes aos provocados por estreitamentos. Verifica-se em ambas as situações uma contração da área transversal do escoamento, sendo que no caso do estreitamento o fluxo passa a ocorrer apenas por uma passagem e no caso dos obstáculos passam a existir duas passagens. Como consequência, o grau de obstrução do escoamento é maior para o caso dos estreitamentos do que para os obstáculos ^[14,15].

Geralmente nos estudos, os tipos mais comuns de obstruções são os pilares de pontes, pilares sobre vertedouros, entre outros. As alterações que estas obstruções provocam no

escoamento livre serão comparadas com as obstruções (veículos) do presente estudo, pois em ambos os casos as consequências, tais como perdas localizadas de cargas, são análogas ^[14,15].

Dependendo das singularidades, o escoamento pode ser subcrítico ($Fr < 1$) ou supercrítico ($Fr > 1$). Quando o escoamento é subcrítico ocorre um regolfo a montante da singularidade e quando o escoamento é supercrítico ocorre um ressalto a jusante ^[15,16].

2.2 Escoamentos com superfície livre de caudais de cheia em zonas urbanas

2.2.1 Aspetos gerais

É necessário um bom conhecimento do comportamento hidráulico de um arruamento e do seu respetivo sistema de recolha de águas pluviais para se poder garantir a segurança da circulação de transeuntes e, quando necessário, corrigir problemas do sistema de drenagem ^[17].

Para prevenir que o escoamento de águas pluviais não ocorra superficialmente nos arruamentos, os meios urbanos dispõem de sistemas de drenagem para recolha das águas pluviais, podendo ser classificadas em sistemas unitários, separativos e mistos ^[4,18].

Os sistemas de drenagem são dimensionados em função da área a drenar, da intensidade, frequência das chuvadas (com base na análise de dados pluviométricos) e do coeficiente de escoamento. Apesar dos parâmetros acima referidos, a determinação do caudal proveniente das águas pluviais apresenta alguma dificuldade, pois é influenciado pela rugosidade, permeabilidade da superfície, extensão, inclinação do arruamento, etc ^[18].

Assim, a determinação do caudal de cálculo é função de todos os parâmetros supracitados, podendo ser determinado com recurso a alguns métodos.

Para o dimensionamento das infra-estruturas de drenagem é essencial definir qual o período de retorno, T_r , a que estão associadas. O valor de T_r , em anos, corresponde à probabilidade de ocorrência de um caudal de ponta de cheia e consequentemente à dimensão e consequências que esse caudal pode provocar ^[8]. Correspondendo portanto ao intervalo de tempo médio entre o qual um caudal é igualado ou excedido. No caso das redes urbanas o período de retorno varia, geralmente, entre 5 a 10 anos ^[4].

Os sistemas de drenagem, para além dos coletores subterrâneos, são constituídos por um conjunto de órgãos acessórios que recolhem as águas das chuvas e as encaminham para os coletores, sendo estes órgãos denominados de sarjetas e/ou sumidouros ^[18].

Contudo, em caso de chuvadas intensas e quando o sistema de drenagem de águas pluviais é insuficiente ^[17], ou seja, se atinge o período de retorno, a rede de coletores deixa de ter capacidade de vazão e o escoamento passa a ocorrer em superfície livre. Neste caso os danos causados pelo escoamento das águas pluviais podem ser elevados, podendo o nível das águas

atingir algumas dezenas de centímetros e afetar pisos térreos, caves e infra-estruturas subterrâneas [5,8].

O escoamento em superfície livre para valores de duração e intensidade de chuvas elevados origina inundações urbanas. A altura da água escoada é fortemente influenciada pela obstrução à livre circulação do escoamento [8], ou seja, obstrução provocada pela quantidade e disposição de obstáculos presentes nas vias urbanas. Estes fatores levaram ao desenvolvimento de modelos de simulação urbana como é o caso dos programas “MIKE Urban” e “MIKE Flood”.

2.2.2 Modelos “MIKE Urban” e “MIKE Flood”

O aumento da frequência de inundações urbanas ao longo das últimas décadas, tem aumentado a importância da incorporação de ferramentas informáticas que ajudem nos processos de gestão da drenagem urbana, tendo-se demonstrado imprescindível a utilização de modelos de simulação [19], surgindo assim programas como o Mike Urban ou o Mike Flood, entre outros.

O programa “MIKE Urban” faz parte de um vasto conjunto de modelos de simulação que tem tido uma larga utilização em estudos de hidráulica e de recursos hídricos, vulgarmente designado por MIKE. Estes modelos foram desenvolvidos pelo DHI (Instituto Hidráulico da Dinamarca) [1], fundado em 1964 no seio da Universidade Técnica da Dinamarca.

O “MIKE Urban” consiste num sistema de modelação urbana que permite abranger toda a água das cidades através das suas quatro áreas de aplicação:

- Gestão de dados;
- Rede de distribuição de água (EPANET);
- Sistema de drenagem de águas residuais e pluviais (SWMM), incluindo escoamento superficial 2D;
- Inundações urbanas.

O sistema de recolha de águas é constituído por vários módulos, havendo alguns específicos para o estudo das águas pluviais, tais como:

- O “Mike Urban CS Precipitação – Escoamento”, constituído por uma variedade de métodos que permitem o estudo da hidrologia urbana;
- O “2D overland flow”, que permite definir a extensão terrestre que se pretende estudar permitindo simular e visualizar os impactos de uma inundação urbana através de séries temporais, perfis, mapas e animações [1].

Também o programa “MIKE Flood” possibilita o estudo e previsão em casos de inundações urbanas. Este modelo permite fazer simulações de cheias unidimensionais e bidimensionais em vias urbanas e consequentemente analisar os riscos e as consequências de inundações [1].

Estes modelos de simulação representam uma importante ferramenta para o estudo e previsão dos impactos que as cheias urbanas podem provocar sobre bens e pessoas.

PARTE III - METODOLOGIA

3.1 Análise Teórica

3.1.1 Enquadramento geral

Para escoamentos com superfície livre e quando o líquido escoado é a água assume-se que o escoamento é turbulento, aplicando-se as leis de resistência empírica de Chézy ou de Gauckler-Manning-Strickler. No presente estudo optou-se pela fórmula de Gauckler-Manning-Strickler, autores que a propuseram em 1867, 1891 e 1929, respetivamente ^[9]:

$$Q = K_s * A * R^{2/3} * i^{1/2} \quad (3.1)$$

Onde:

Q – Caudal escoado (m^3/s);

K_s – Coeficiente de rugosidade da fórmula de Gauckler-Manning-Strickler ($m^{1/3}/s$);

A – Área molhada da secção transversal do canal (m^2);

R – Raio hidráulico (m);

i – inclinação do fundo do canal (m/m).

Com base na equação de Gauckler-Manning-Strickler é também possível obter o valor das alturas de água através de forma gráfica, escrevendo para isso a expressão sob a forma (2.1) ^[9,15]:

O primeiro membro da equação pode ser fixado e o segundo é apenas função da forma geométrica da secção (neste caso retangular) e da rugosidade, ou seja, representa a capacidade de transporte ^[15,20].

A relação entre ambos os membros da equação origina para cada secção, a curva de capacidade de vazão. A partir desta curva e assumindo que \sqrt{i} é constante, é possível relacionar o caudal com a altura de água numa dada secção ^[15,20].

Toda a análise de dados foi feita em folha de cálculo Excel (a qual é apresentada dos ANEXOS 1 ao 20), tendo por base os princípios de escoamento uniforme em regime turbulento e as componentes da equação apresentado no presente tópico.

3.1.2 Determinação do coeficiente de rugosidade (K_s)

O parâmetro K_s corresponde por definição ao coeficiente de rugosidade do fundo do canal e é um dos parâmetros mais importantes para as condições de escoamento. Varia em função da natureza do leito, como o tipo de solo, presença de vegetação ou formações rochosas, existindo valores tabelados para diversos tipos de leitos ^[9,14].

Para a obtenção de um valor mais aproximado à situação estudada, optou-se por determinar o valor de K_s em laboratório, através da aplicação da fórmula de Gauckler-Manning-Strickler:

$$K_s = \frac{Q}{A * R^{2/3} * i^{1/2}} \quad (3.2)$$

Conhecida a largura do canal ($b = 0,7\text{m}$), fizeram-se variar os valores de Q e de i , para obter as alturas de água (h) correspondentes. Para isso, a cada inclinação entre $0,005 \text{ m/m}$ e $0,030 \text{ m/m}$, fez-se variar os valores de caudais entre um mínimo de $10\text{m}^3/\text{h}$ e um máximo de $45 \text{ m}^3/\text{h}$.

Com as alturas de água obtidas foram calculadas as áreas molhadas (A) e os raios hidráulicos (R), para cada situação, através das expressões:

$$A = b * h \quad (3.3)$$

e

$$R = \frac{b * h}{b + 2 * h} \quad (3.4)$$

Onde:

b – Largura transversal do canal (m);

h – Altura de água no canal (m).

Para cada combinação de Q e de i foi obtido um valor de K_s , resultando desta forma seis valores de K_s para cada inclinação, com exceção para $i = 0,005 \text{ m/m}$ e $i = 0,010 \text{ m/m}$. Entre os resultados de K_s para cada inclinação, seleccionaram-se os que se situavam aproximadamente dentro do mesmo valor, dado que os restantes, por corresponderem já a alturas de água relativamente muito pequenas face à dimensão da rugosidade absoluta da superfície do fundo, correspondem já a uma situação onde os valores de K_s variam bastante. Desta forma, constatou-se que eram em número de três os que se aproximavam mais da rugosidade característica de um pavimento betuminoso, tendo-se apurado o seu valor médio. Por fim, calculou-se a média das médias previamente obtidas nas várias combinações, obtendo-se um valor de K_s igual a $65,96 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ou, muito aproximadamente, igual a $66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

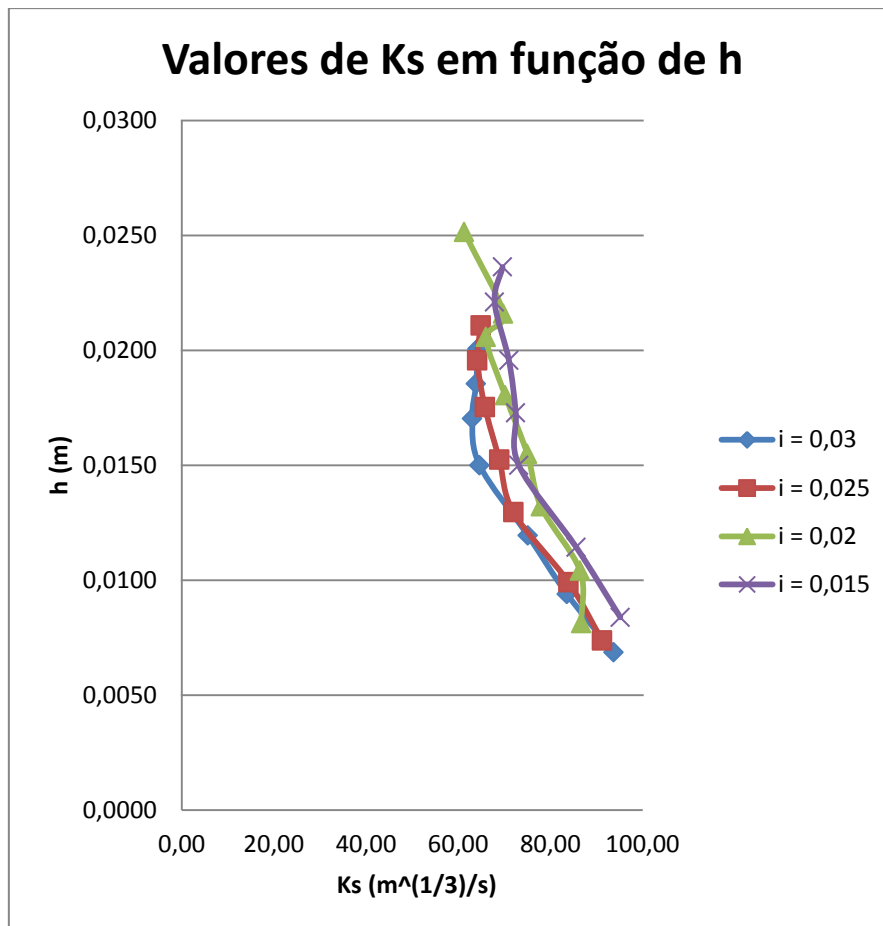


Figura 3.1 - Relação entre valores de K_s e de alturas de água para várias inclinações e caudais.

Na figura acima é possível verificar os resultados já referidos, sendo visível a estabilização dos valores K_s para alturas de água acima de 0,015 m e valores de K_s na ordem de $65/66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

3.1.3 Teoria da semelhança

Pese embora terem tido no passado mais aplicações, ainda hoje uma parte significativa dos estudos realizados no âmbito de Hidráulica são feitos em modelos reduzidos e como tal torna-se necessário o recurso a leis que relacionem as grandezas intervenientes nos modelos e protótipos. A transposição de valores do modelo reduzido para o protótipo faz-se através da Teoria da Semelhança ^[9].

O objetivo consiste em tornar dois sistemas (o modelo reduzido e o protótipo) fisicamente semelhantes em relação a um conjunto de grandezas ^[9,16], sendo necessário haver uma escala (λ) para essas grandezas.

Interessa, em primeiro lugar, obter a semelhança geométrica, a qual consiste na semelhança de formas (obstáculos do escoamento) e se traduz na relação entre comprimentos nos dois sistemas ^[9].

Desta forma, começou-se por selecionar a escala geométrica, tendo em atenção a largura do canal experimental e as tipologias mais frequentes de largura de arruamentos. A escala adotada foi a de 1:12, correspondendo os 0,70 m de largura do canal a um arruamento com 8,4 m.

Seguidamente, estudaram-se as dimensões de diversos veículos ligeiros existentes no mercado, tendo-se adotado um veículo tipo, representativo, com as dimensões 173 cm por 400 cm, e um peso de 1700 kgf.

Para este veículo corresponde um modelo de viatura com comprimento de 33,3 cm por 14,4 cm.

As dimensões das rodas do veículo em protótipo foram jante de 16", largura do pneu de 20,5 cm e distância entre a base do pneu e o *chassis* de 15 cm. Após conversão dos valores do protótipo para modelo reduzido obteve-se uma roda com altura total de 4,93 cm, dos quais 1,25 cm correspondem à distância entre a base do canal e o *chassis* do veículo.

A semelhança dinâmica, que é a semelhança de forças, exprime-se na parecença homóloga das forças (direção e sentido iguais), em ambos os sistemas ^[9,16].

Os estudos de modelos com escoamento em superfície livre, são realizados através da aplicação da semelhança de Froude, dado que a gravidade é o fator dominante do escoamento. O número de Froude é igual quer para o protótipo quer para o modelo ^[12,21]

Assim, aplicou-se a semelhança de Froude:

$$\lambda F_r = \frac{F_{r\text{modelo}}}{F_{r\text{protótipo}}} = 1 \quad (3.5)$$

A fórmula de conversão da escala de massa, para um mesmo líquido (água) é a seguinte:

$$m = \rho V \rightarrow \lambda_m = \lambda_\rho * (\lambda l)^3 = 1 * (\lambda l)^3 \rightarrow \lambda_m = (\lambda l)^3 \quad (3.6)$$

Aplicando no caso prático do trabalho, para um veículo com uma massa de 1700 kg em protótipo, a teoria da semelhança de Froude tem-se, no modelo reduzido:

$$\text{massa no modelo} = \frac{1700}{12^3} = 0,984 \text{ kg} \quad (3.7)$$

Em que:

λ_{Fr} – escala de Froude;

λ_l – escala geométrica;

λ_m – escala de massa;

m – massa do elemento em estudo [kg];

ρ – massa específica [kg/m³];

V – volume [m³].

3.1.4 Número de Froude (Fr)

Os escoamentos em superfície livre ocorrem pela ação que a gravidade exerce e por isso são caracterizados pelo número de Froude, que pode ser determinado através da seguinte expressão [16].

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (3.8)$$

onde:

U – velocidade média do escoamento (m/s);

g – aceleração da gravidade ($\approx 9,8 \text{ m/s}^2$);

h – altura de água do escoamento (m).

Esta expressão, representa o dobro da relação entre a energia cinética e a energia potencial do escoamento, ou seja, a rapidez ou lentidão do escoamento [12,15, 16].

Assim, num canal com uma dada inclinação, secção, rugosidade e caudal, é possível determinar o regime de escoamento. Quando Fr for superior a 1 significa que as pequenas perturbações superficiais não se propagam para montante, e o movimento diz-se rápido ou torrencial; caso Fr seja igual a 1 o regime diz-se crítico e por fim no caso de Fr ser inferior a 1, significa que as pequenas perturbações superficiais propagam-se tanto para montante como para jusante e neste caso o regime diz-se lento ou fluvial [15,16].

Quando $Fr > 1$ ocorre a formação de um ressalto hidráulico na passagem do regime rápido para um regime lento, o qual consiste numa brusca sobrelevação da altura de água do escoamento, e que é acompanhada por alguma turbulência no escoamento [15].

Para as simulações realizadas neste estudo, ocorreram apenas ressaltos ondulados para números de Froude situados entre 1 e 1,7 e ressaltos fracos quando os números de Froude se situaram entre 1,7 e 2,5.

3.1.5 Ressalto hidráulico

A formação de um ressalto hidráulico consiste numa sobrelevação brusca da superfície livre duma corrente permanente como resultado da passagem do regime rápido a regime lento, sendo acompanhado de agitação e grandes perdas de energia (macroturbulência) [10,12,15].

A distância compreendida entre a altura de água imediatamente a montante do ressalto e a altura imediatamente a jusante designa-se comprimento do ressalto.

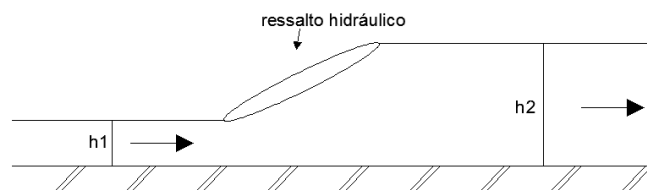


Figura 3.2 - Representação de ressalto hidráulico numa secção retangular (Adaptado de: Chanson, 1999).

Em função do número de Froude é possível determinar qual o tipo de ressalto, havendo cinco possibilidades ^[10,12,14,15], contudo para os ensaios realizados neste estudo apenas se verificou a existência de 3 tipos, os quais serão referidos de seguida.

Para valores de Fr inferiores ou iguais a 1, o regime é lento ou crítico, não ocorrendo a formação de ressalto ^[10,15].

Para valores de Fr situados entre 1 e 1,7 forma-se um ressalto ondulado, sendo muito baixa a diferença de alturas a montante e a jusante. A superfície livre do escoamento nesta situação é caracterizada por um ligeiro enrugamento ^[10,15].



Figura 3.3 - Ressalto ondulado (Lencastre, 1983).

Para valores compreendidos entre 1,7 e 2,5 ocorre um ressalto fraco, caracterizado por pequenos turbilhões superficiais. Até estes valores de Fr a superfície livre é basicamente lisa e a distribuição de velocidades é regular ^[10,15].

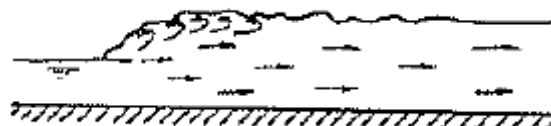


Figura 3.4 Ressalto fraco (Lencastre, 1983).

O terceiro ressalto verificado no estudo chama-se ressalto oscilante e tem valores de Fr situados entre 2,5 e 4,5, tendo ocorrido neste estudo muito poucas vezes. É caracterizado por uma maior agitação quer no fundo quer na superfície do escoamento ^[10,15].



Figura 3.5 - Ressalto oscilante (Lencastre, 1983).

3.1.6 Perdas de carga

Quando um canal, suficientemente longo, tem inclinação, secção, rugosidade e caudal constantes acaba sempre por se estabelecer o regime uniforme, onde as perdas de carga por atrito são compensadas pela inclinação do fundo do canal e onde a linha piezométrica corresponde com o perfil da superfície livre. Contudo, sempre que há uma singularidade no escoamento verifica-se uma perda localizada de energia. Ou seja, sempre que há uma descida brusca da linha de energia significa que há uma perda de carga singular, e consequentemente uma alteração da superfície livre. Nesta situação, o regime de escoamento deixa de ser uniforme e passa a ser variado.

Um trabalho de referência sobre a avaliação de perdas de carga que ocorrem em escoamentos fluviais provocados por pilares de pontes e outro tipo de obstáculos é “Hydraulics of Bridge Waterways” (1978), de Joseph Bradley^[22]. Este trabalho incide sobretudo na análise de regolfos, curvas de regolfo e perdas de carga, quando um escoamento sofre uma singularidade (pilares de ponte, estreitamentos, alargamentos, barragens de aterros, entre outros).

No estudo é referido que há evidentes mudanças no escoamento junto a pilares, no que se refere a perdas de energia.

Segundo o autor citado, a dinâmica do escoamento junto a pilares obriga à contração do fluxo e como consequência a uma grande perda de energia. A perda ocorre sobretudo a jusante dos pilares quando se retomam as condições de escoamento e reflete-se num aumento da superfície de água e na linha de energia a montante da ponte.

A figura seguinte representa o perfil ao longo do eixo do escoamento, na presença de uma singularidade. No perfil encontram-se identificadas quatro secções de modo a obter uma melhor percepção das variações das perdas de energia, ao longo do escoamento.

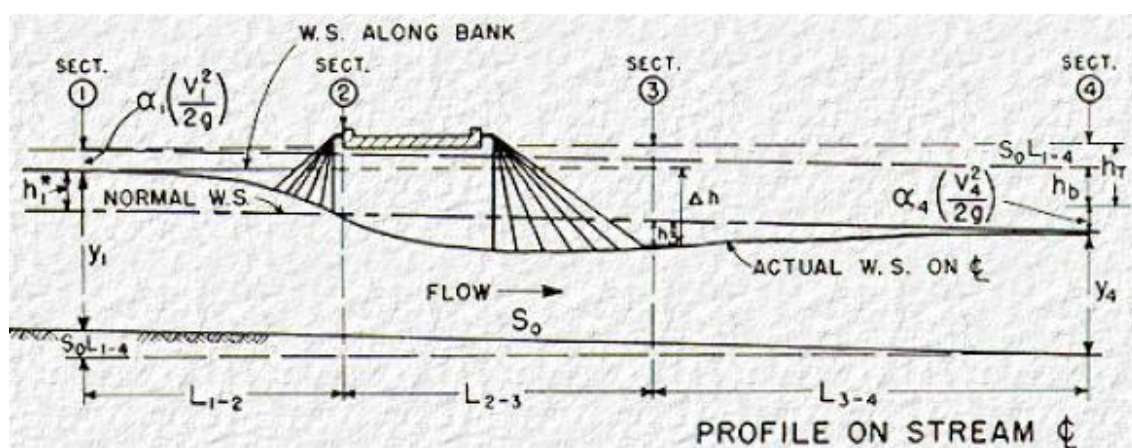


Figura 3.6 - Perfil do escoamento em presença de obstáculo (Bradley, 1978).

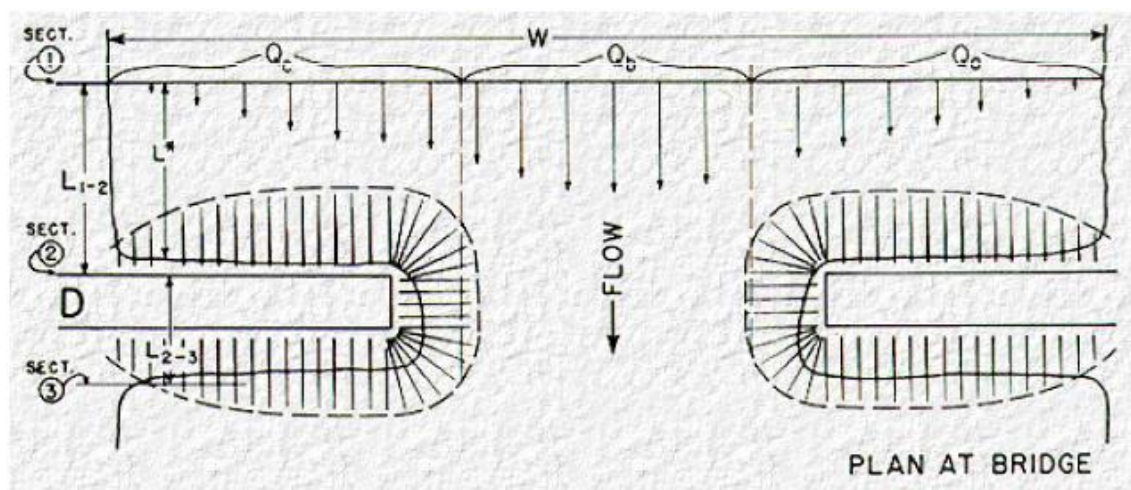


Figura 3.7 - Planta do escoamento em presença de dois obstáculos (Bradley, 1978).

A linha a tracejado denominada “ Normal W. S.” representa a superfície da água sem contração do canal e a linha preenchida denominada “Actual W. S.” representa a superfície da água após a contração do canal. A perda total de energia entre as secções 1 e 4 é representada por h_t , e h_b representa a perda de energia resultante da contração do canal.

De alguma forma, é possível fazer uma analogia entre as perdas de carga provocadas por pilares de uma ponte e os resultados de outro tipo de obstáculos, como os veículos no canal estudado.

Algumas das consequências da existência de obstáculos são as perturbações do escoamento e as consequentes perdas de carga, o aumento das alturas de água a montante e a concomitante formação de curvas de regolfo e ainda, nalguns casos, a ocorrência de ressaltos hidráulicos.

3.2 Análise experimental

3.2.1 Descrição geral do laboratório

A análise experimental foi desenvolvida a partir de um modelo reduzido existente no laboratório de hidráulica Professor Armando Lencastre. Este laboratório faz parte do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente (DCEA), pertencente à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Este laboratório está essencialmente destinado ao ensino de Hidráulica incluindo, por exemplo, vários bancos de ensaio para o estudo de escoamentos em pressão e em superfície livre, o estudo de orifícios e descarregadores ou ainda o estudo de bombas centrífugas. Para além disso, o laboratório possui diverso equipamento de apoio a trabalhos de campo para o apoio a estudos e projetos de hidráulica e recursos hídricos.

3.2.2 Descrição do modelo reduzido

O recurso a ensaios em modelo reduzido decorre muitas vezes da impossibilidade de realizar determinados estudos em protótipo. Esta impossibilidade tanto pode decorrer na não existência ainda do protótipo (e.g. barragem ainda em conceção) como por vezes da inviabilidade de utilização do protótipo (e.g. simulação do transporte de radionuclídeos em rios).

O modelo reduzido utilizado para este estudo é um canal com inclinação variável, que pode variar entre um mínimo de 0,005 m/m e um máximo de 0,030 m/m. Esta gama de inclinações é bastante frequente em arruamentos urbanos, nomeadamente naqueles onde decorrem com mais frequência escoamentos à superfície devido a cheias.

A água escoada no canal circula em circuito fechado, e é bombeada por uma bomba centrífuga localizada exteriormente, sob o canal. O armazenamento da água é feito num depósito que recolhe o caudal após este passar no canal, a partir do qual se alimenta a bomba centrífuga. O caudal escoado pode ser medido através de um caudalímetro, que permite medições até 100 m³/h. No entanto, as condições da instalação e da respetiva bomba limita os ensaios a um caudal máximo de cerca de 45 m³/h. O controlo do caudal é feito com recurso de uma válvula de seccionamento.

3.2.3 Descrição do equipamento de medição de alturas de água

As medições das alturas de água no canal foram feitas com o auxílio de um sensor ultrassónico, tendo sido utilizado o modelo “Lundahl DST_PVC”. As leituras efetuadas correspondem à distância vertical entre a base do sensor e a superfície do plano de água.



Figura 3.8 – Equipamento de medição de alturas de água, modelo: “Lundahl DST_PVC”.

O sensor encontra-se ligado a um monitor no qual aparece a leitura medida instantaneamente. O monitor permite configurar, entre outros fatores, a unidade de medida, tendo

sido para este estudo utilizada a “polegada”, por ser a unidade que permite obter medições mais rigorosas, ao nível da centésima de polegada (aproximadamente 0,25 mm).

3.2.4 Descrição dos ensaios

Grande parte do estudo consistiu na realização de experiências laboratoriais, as quais foram feitas num modelo reduzido, à escala 1:12, como foi referido.

Construíram-se dez “veículos” para o modelo reduzido, com as dimensões anteriormente indicadas. Feitos em madeira, estes “veículos” foram concebidos por forma a poder ser carregados com material inerte que os configurasse com o valor de massa necessário.

Foram estudados dezanove cenários tendo cada um uma conceptualização distinta, o que gerou diferentes classes de obstrução em função da quantidade e disposição de veículos para cada cenário. Os cenários foram simulados com um mínimo de dois e um máximo de dez veículos. A disposição e quantidade de veículos correspondeu a uma percentagem de obstrução mínima de 20,6% e máxima de 96,4%, o que influencia bastante o valor obtido nas medições.

Para cada cenário fizeram-se medições da altura de água num ponto do canal, que se pretende ser representativo da altura de água agravada pela presença dos veículos. As medições foram realizadas para diferentes combinações de caudais e inclinações, sendo que os caudais variaram entre 10 m³/h e 40 m³/h e as inclinações entre 0,005 m/m e 0,030 m/m.

O procedimento para realizar cada experiência consistiu, em primeiro lugar, em ajustar o caudal e a inclinação pretendidos. Posteriormente, foram dispostos os veículos ao longo do canal em função do cenário que se ia estudar, sendo por fim registado o valor da respetiva medição.

Na parte experimental estão presentes, em simultâneo, os quatro parâmetros fundamentais para o presente estudo, designadamente o caudal, a inclinação do fundo, a classe de obstrução e a respetiva altura de água originada pela combinação dos três restantes fatores.

3.2.5 Limitações

Para a realização da componente experimental procurou-se garantir que as condições de escoamento e o modelo reduzido fossem o mais possível representativas da realidade. Contudo, houve algumas limitações e condicionantes.

Em muitos dos cenários a perturbação introduzida pela presença dos veículos originou um escoamento no canal caracterizado essencialmente pela sua bidimensionalidade, com variação longitudinal e transversal das características hidráulicas, nomeadamente a altura de água.

A principal limitação consistiu no facto de as medições terem sido feitas apenas num ponto do canal, pois desta forma não se pode obter as curvas de regolfo ou o padrão do campo de alturas de escoamento. Apesar desta condicionante procurou-se que o sensor se encontrasse situado onde a medição fosse representativa do valor crítico da altura de água.

Uma outra condicionante em grande parte dos cenários foi a existência de agitação turbulenta no fluxo do escoamento, resultante da presença de obstáculos no canal, dando origem à formação de correntes transversais. Estas correntes alteram não só a unidimensionalidade do escoamento como a forma da superfície livre, sendo nestes casos mais difícil obter uma medição representativa do domínio espacial do escoamento no trecho do canal em estudo.

3.3 Análise e discussão de resultados

3.3.1 Observações gerais

Para a realização da parte laboratorial do estudo, as medições das alturas de água foram obtidas através de um sensor ultrassônico, localizado a uma distância de cerca de 0,75m do fundo do canal. Antes de cada série de medições, com o canal a seco, aferiu-se o valor de referência (h_0), a partir do qual foram obtidas as medições das alturas de água, por subtração do valor medido entre o sensor e o plano de água daquele valor de referência.

As medições das alturas de água do escoamento, provocadas pelas condições impostas pela localização dos veículos, foram feitas tentando-se que estas fossem o mais representativas possível das respectivas alturas do escoamento. Verificou-se contudo, em particular para as situações de regime rápido, que as alturas de água não eram absolutamente iguais ao longo do canal, pois a perturbação do escoamento provocada pelos obstáculos era de molde a introduzir correntes transversais que implicavam alguma variação das alturas de água, variação essa que se produzia ao longo do canal. Por estas razões, os valores medidos pelo sensor, longe de representarem condições de um regime uniforme, não estavam isentas de alguma flutuação temporal.

Importa também referir a importância daquilo que se entendeu designar como “grau de obstrução” face à variação da altura de água do escoamento. O grau de obstrução representa o quociente entre a largura da projeção dos veículos num plano perpendicular à direção do escoamento e a largura total do canal. Foram adotadas cinco classes para distribuir os diversos graus de obstrução ensaiados, representadas por cinco intervalos, de igual valor: classe 1 entre 0 e 20%, classe 2 entre 20 e 40%, classe 3 entre 40 e 60%, classe 4 entre 60 e 80% e classe 5 entre 80 e 100%.

3.3.2 Análise individual dos cenários

Cenário h0

O cenário h0 representa o ensaio base, ou seja, o escoamento de um dado caudal na ausência de viaturas e portanto sem qualquer grau de obstrução. Corresponde, muito aproximadamente, às condições de regime uniforme do escoamento.

Este cenário define um valor da altura da água, em vias urbanas, em função apenas da inclinação e do caudal escoado. Desta forma é através dos valores medidos em h0, que nos restantes cenários se podem obter as sobrelevações da lâmina líquida, provadas pela quantidade e disposição dos obstáculos.

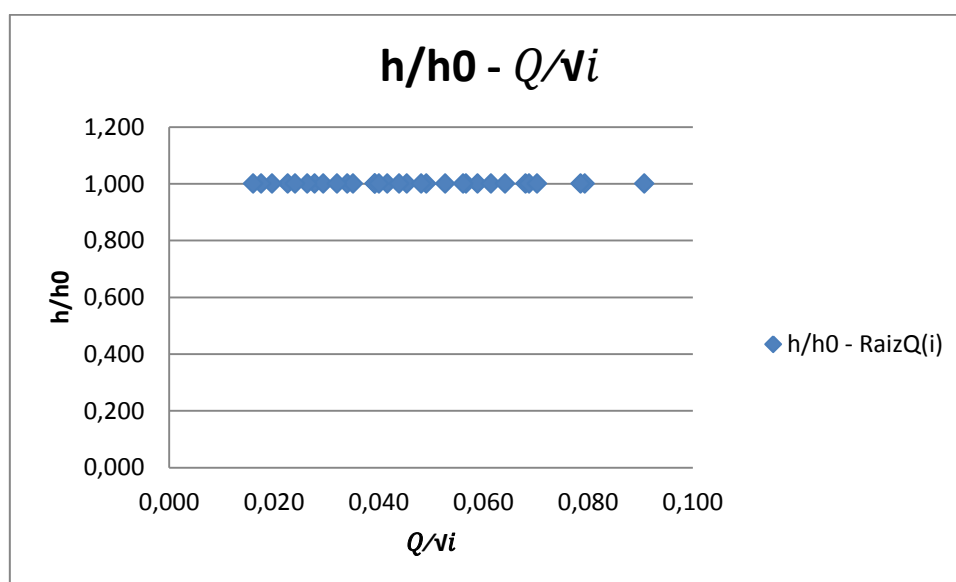


Figura 3.9 – Gráfico de cenário base (sem obstáculos).

- Classe de obstrução: 1
- 31 leituras
- 30 leituras em regime rápido

Para este cenário não há sobrelevação da altura de água, sendo sempre $h/h_0 = 1$. Isto ocorre porque não há nenhuma perturbação no escoamento, sendo o grau de obstrução de 0%.

Cenário h1

Neste cenário o sensor localizou-se numa parte mais a montante do canal. Ao longo do canal estão distribuídos 10 obstáculos, localizando-se 2 a montante do sensor e 8 a jusante. Os

obstáculos encontram-se igualmente afastados e distribuídos junto às paredes laterais do canal, correspondendo a um grau de obstrução de 41,19%.

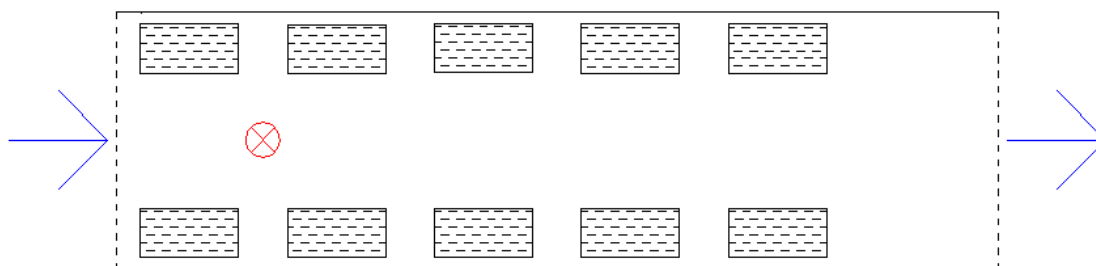


Figura 3.10 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h1.

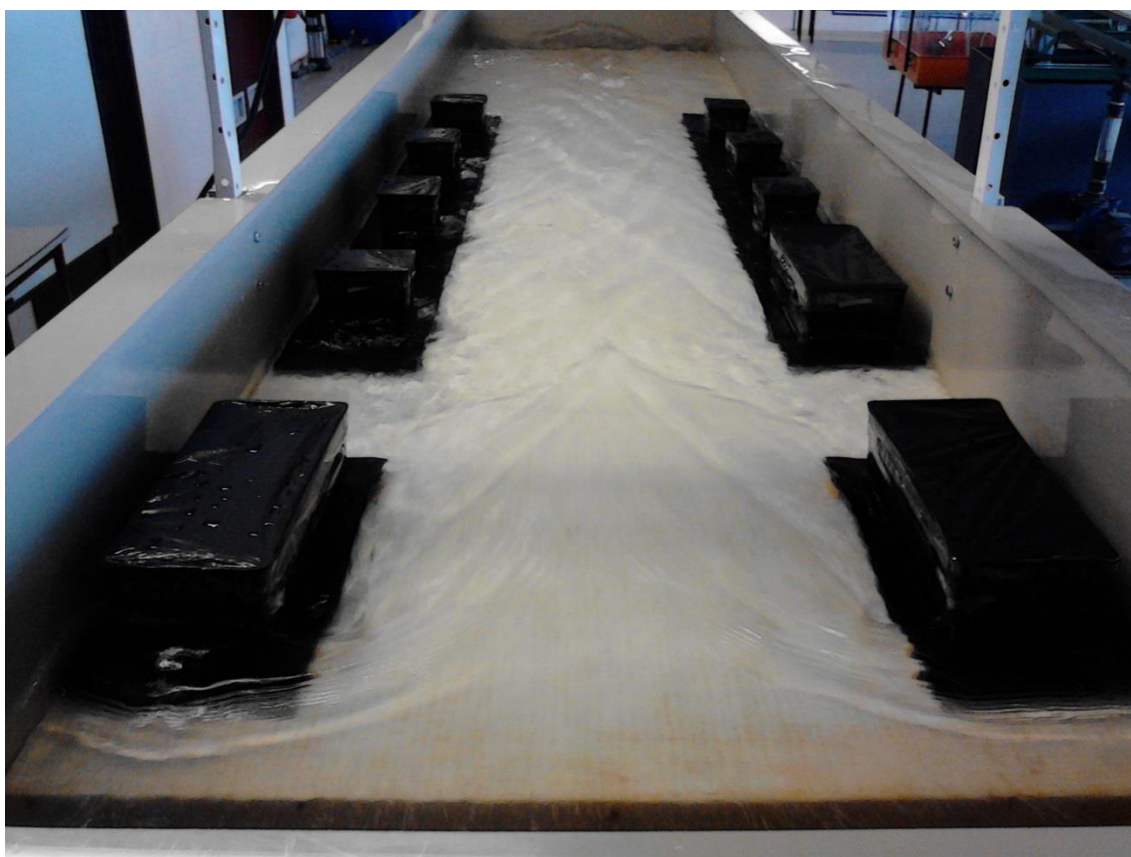


Figura 3.11 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h1.

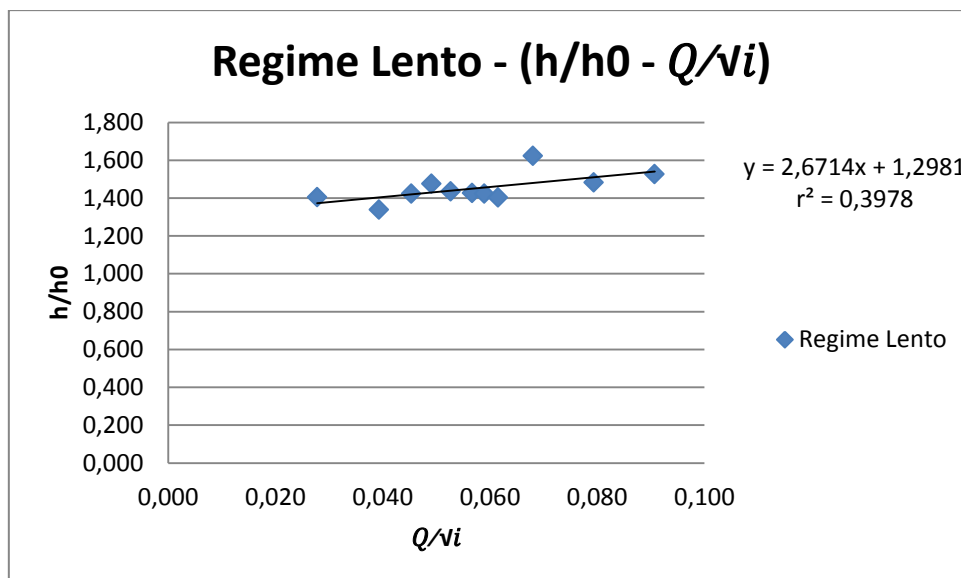


Figura 3.12 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h1.

Para as situações de escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,4 e 1,6, traduzindo-se pois estes valores num aumento percentual das alturas de escoamento em regime uniforme entre 40% e 60%, sendo tanto maior quanto maiores os valores de Q/\sqrt{i} (Figura 3.12).

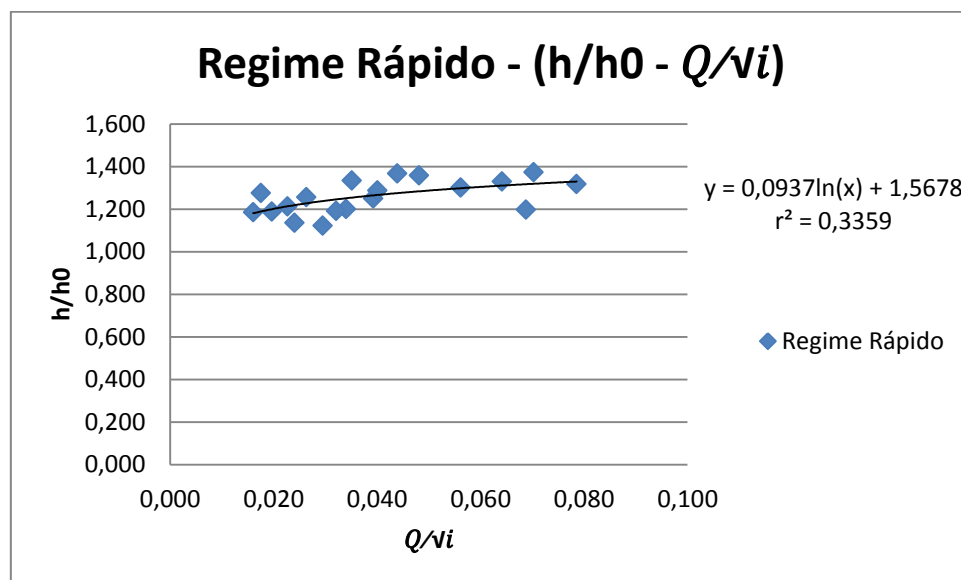


Figura 3.13 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h1.

As medições de h/h_0 para o regime rápido, variam entre aproximadamente 1,12 e 1,4, o que significa que face ao escoamento base há um aumento percentual de 12% a 40% da altura de água (Figura 3.13).

- Classe de obstrução: 3
- 31 leituras
- 19 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,122
- (h/h_0) médio = 1,328
- (h/h_0) máximo = 1,623

Após análise dos resultados (ver figuras 3.11 e 3.12), conclui-se que há no mínimo um aumento percentual da lâmina líquida do escoamento na ordem dos 12% e um máximo de cerca de 62%, sendo que em média aumenta cerca de 32%.

Pese embora os gráficos das figuras parecerem indiciar uma linha de tendência, os valores de r^2 obtidos tanto para o regime lento, como para o regime rápido, são contudo, muito baixos.

Cenário h2

Cenário onde o sensor se localiza numa parte mais a montante do canal. Ao longo do canal estão dispostos 8 obstáculos, dos quais 2 de encontram a montante do sensor e 6 a jusante. Os obstáculos estão igualmente distribuídos em ambas as paredes laterais do canal, provocando um grau de obstrução de 41,19%.

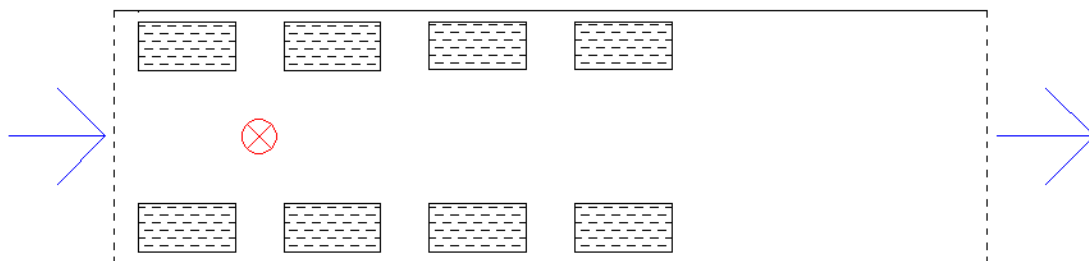


Figura 3.14 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h2.



Figura 3.15 – Distribuição dos obstáculos no canal para o cenário h2.

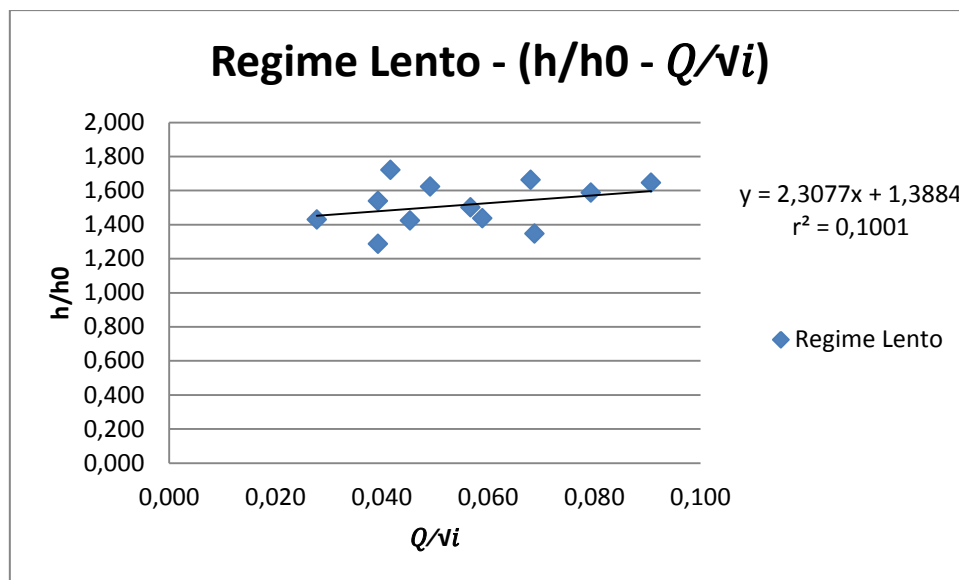


Figura 3.16 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h2.

Para as situações do escoamento onde se verificou a existência do regime lento, os valores de h/h_0 variam entre 1,28 e 1,73, o que traduz para este regime, uma aumento mínimo do nível de água de cerca de 28% e máximo de cerca de 73% (Figura 3.16).

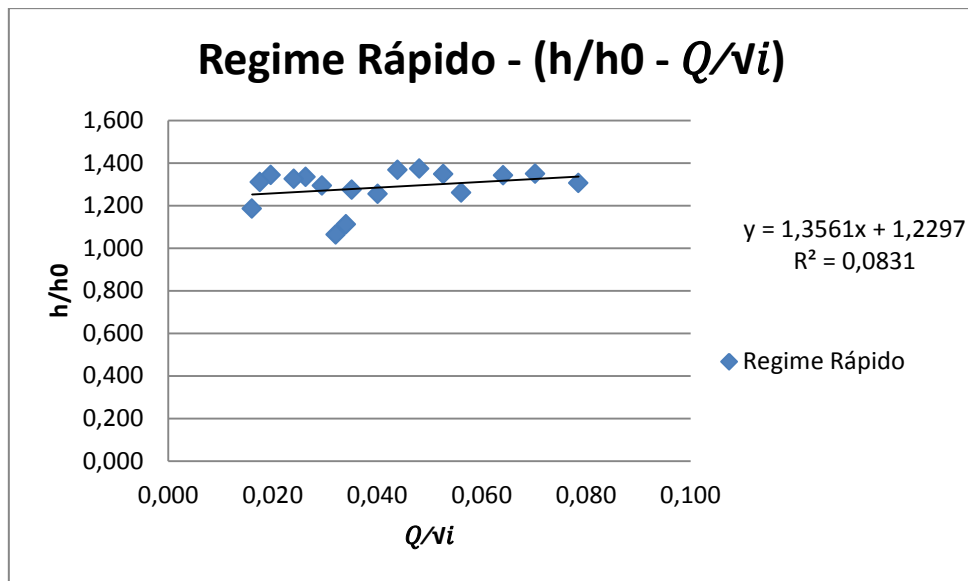


Figura 3.17 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime rápido para o cenário h2.

Para as situações de escoamento em regime rápido, há uma variação de h/h_0 entre aproximadamente 1,1 e 1,43, havendo portanto um aumento da altura de água de cerca de 10% no mínimo e de 43% no máximo (Figura 3.17).

- Classe de obstrução: 3
- 30 leituras
- 17 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,064
- (h/h_0) médio = 1,382
- (h/h_0) máximo = 1,720

Após análise dos resultados (ver figuras 3.16 e 3.17), conclui-se que há no mínimo um aumento percentual da lâmina líquida do escoamento na ordem dos 6% e um máximo de cerca de 72%. Em média a altura de água para este cenário aumenta cerca de 39%.

O coeficiente de correlação é baixo em ambos os cenários, sendo contudo r^2 melhor no regime rápido que no regime lento.

Cenário h3

Neste cenário a localização do sensor está numa parte mais a montante do canal. Encontram-se ao longo do canal 4 obstáculos, estando 2 a montante do sensor e 2 a jusante, paralelos a ambas as paredes laterais do canal e correspondendo a um grau de obstrução de 41,19%.



Figura 3.18 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h3.

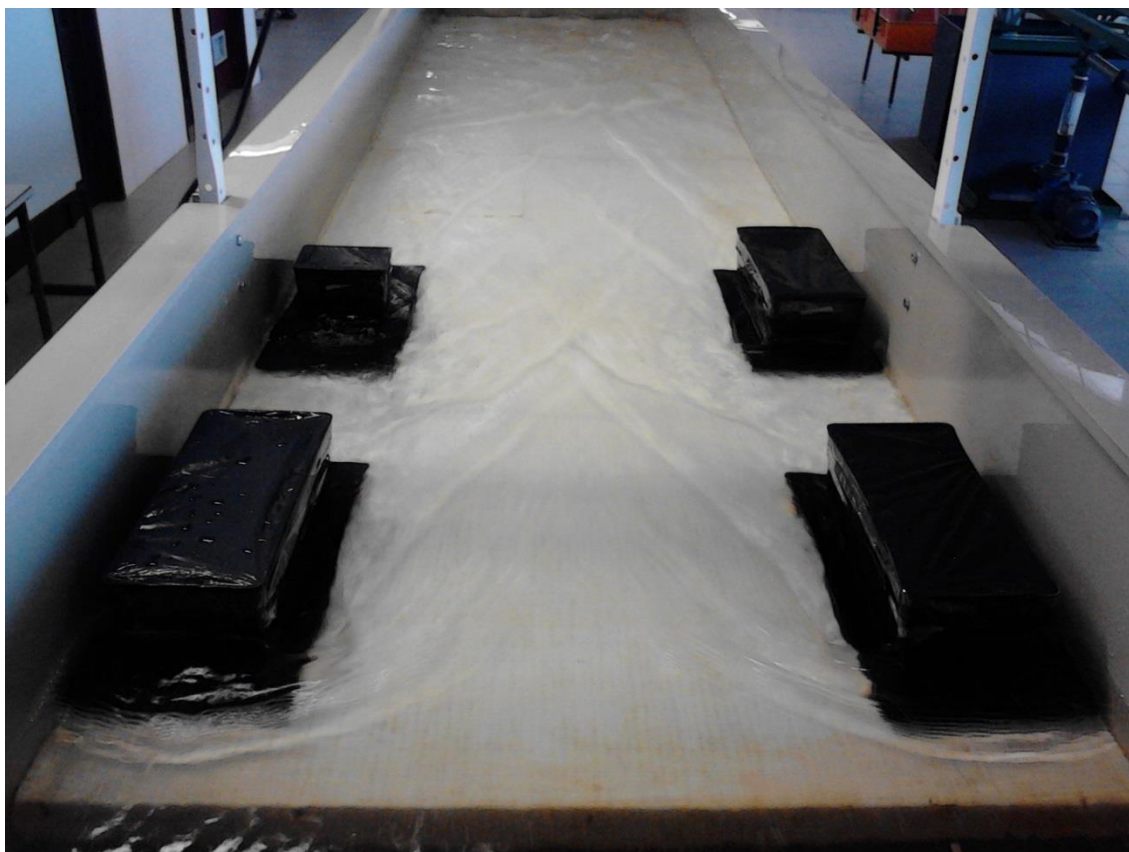


Figura 3.19 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h3.

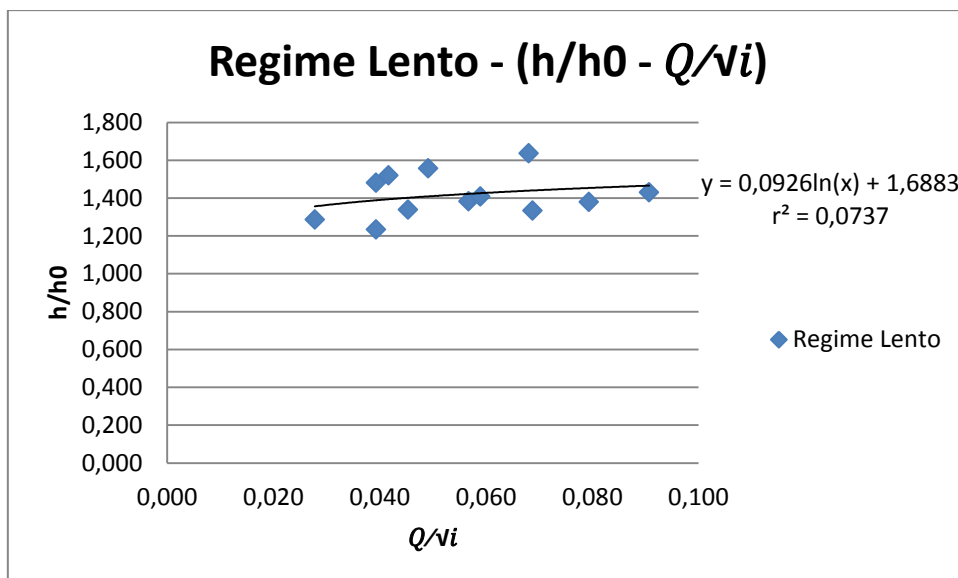


Figura 3.20 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime lento para o cenário h3.

Para as situações de escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,3 e 1,64, verificando-se assim que o aumento percentual das alturas de escoamento, devido a este cenário, se situa aproximadamente entre os 30% e os 64%, sendo maior para valores de Q/v_i entre 0,04 e 0,06 (Figura 3.20).

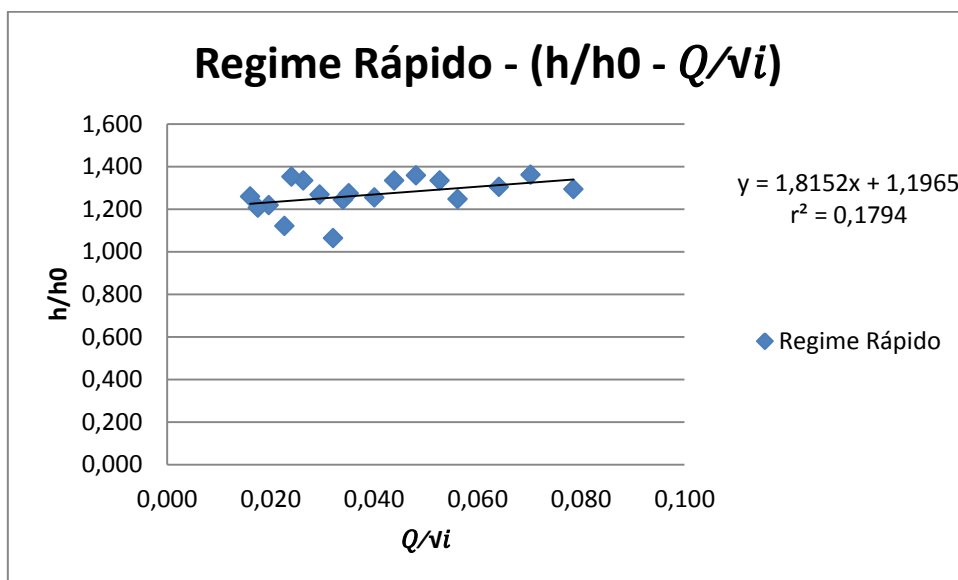


Figura 3.21 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime rápido para o cenário h3.

Os valores de h/h_0 , para o regime rápido, variam entre aproximadamente entre 1,06 e 1,4, portanto existe um acréscimo percentual de 6% a 40% face ao escoamento base (Figura 3.21).

- Classe de obstrução: 3
- 31 leituras

- 18 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,064
- (h/h_0) médio = 1,33
- (h/h_0) máximo = 1,636

Após análise dos resultados (ver figuras 3.20 e 3.21), conclui-se que há no mínimo um aumento percentual da lâmina líquida do escoamento na ordem dos 6% e um máximo de cerca de 64%. Em média a altura de água, para as condições de escoamento provocadas por este cenário aumenta cerca de 33%.

Cenário h4

Neste cenário o sensor localiza-se numa parte montante do canal. Ao longo do canal estão distribuídos 8 obstáculos, dos quais 2 se encontram a montante do sensor e 6 a jusante. Os obstáculos a montante do leitor estão alinhados, contudo a disposição dos obstáculos a jusante tem a forma de ziguezague, ou seja, entre cada dois obstáculos há um espaço vazio com dimensão ligeiramente superior à de um veículo. Os obstáculos encontram-se alinhados paralelamente às paredes laterais do canal, provocando um grau de obstrução de 41,19%.

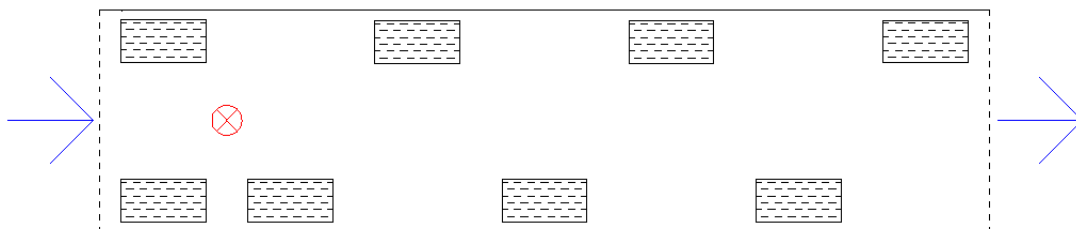


Figura 3.22 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h4.



Figura 3.23 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h4.

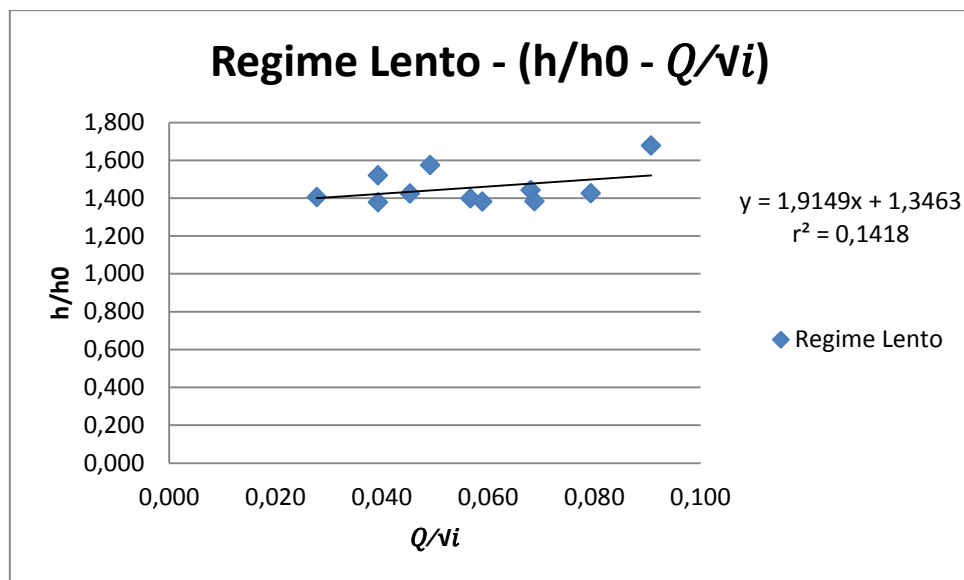


Figura 3.24 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h4.

Para as situações de escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,3 e 1,68, verificando-se assim que o aumento percentual das alturas de escoamento, devido a este cenário, se situa aproximadamente entre os 30% e os 68%, sendo maior para valores de Q/\sqrt{i} de cerca de 0,05 e 0,09. Novamente verifica-se um valor de r^2 baixo e valores mais dispersos acima de $h/h_0=1,5$ (Figura 3.24).

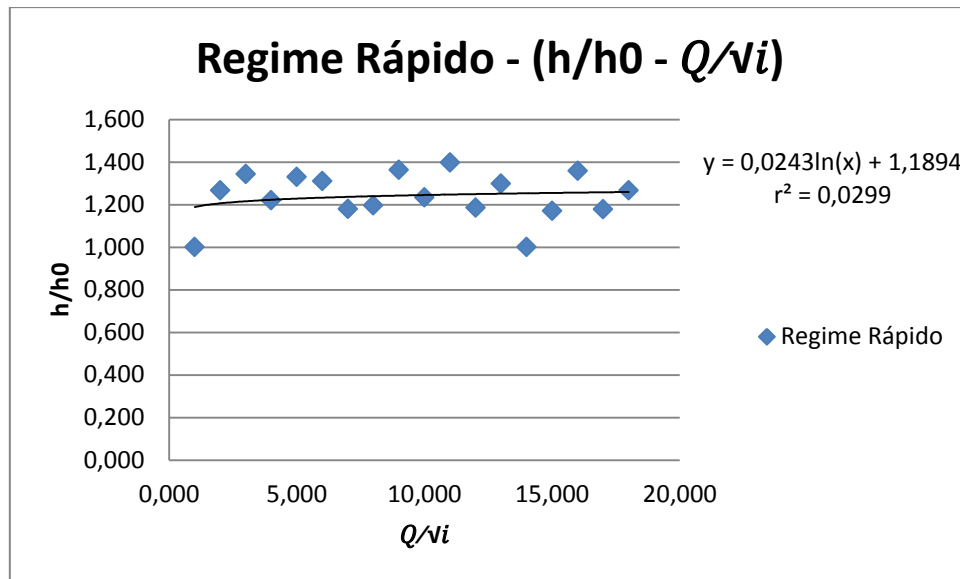


Figura 3.25 – Relação h/h_0 – Q/v_i do regime rápido para o cenário h4.

Para as situações de escoamento em regime rápido, há uma variação de h/h_0 entre 1,0 e aproximadamente 1,4. Em duas medições verifica-se que a relação $h/h_0=1$, portanto mesmo com a presença de obstáculos não há sobrelevação da altura de água. As restantes leituras, para este regime, variam entre aproximadamente 1,2 e 1,4, provocando um aumento da lâmina líquida de cerca de 20% a 40% (Figura 3.25).

- Classe de obstrução: 3
- 30 leituras
- 18 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,0
- (h/h_0) médio = 1,324
- (h/h_0) máximo = 1,677

Após análise dos resultados (ver figuras 3.24 e 3.25), conclui-se que para o h/h_0 mínimo não há aumento percentual da lâmina líquida do escoamento e há um máximo de cerca de 68%. Em média a altura de água, para as condições de escoamento provocadas por este cenário aumenta cerca de 32%.

Cenário h5

Neste cenário o sensor localiza-se na parte montante do canal. Existem 4 obstáculos, estando 2 localizados a montante do sensor e 2 a jusante. Os obstáculos encontram-se dispostos em espinha em relação às paredes laterais do canal, e originam um grau de obstrução de 96,37%

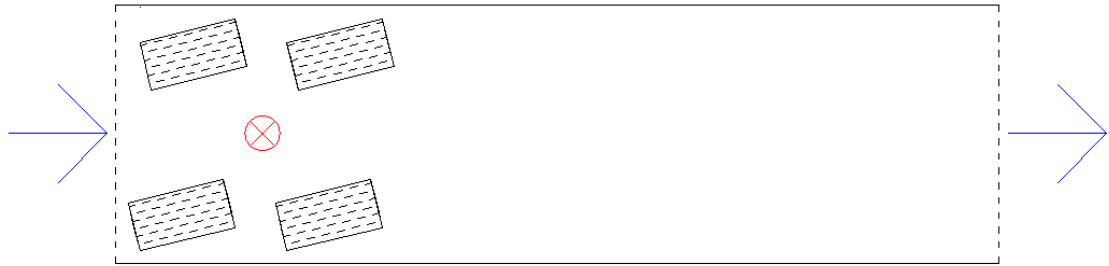


Figura 3.26 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h5.



Figura 3.27 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h5.

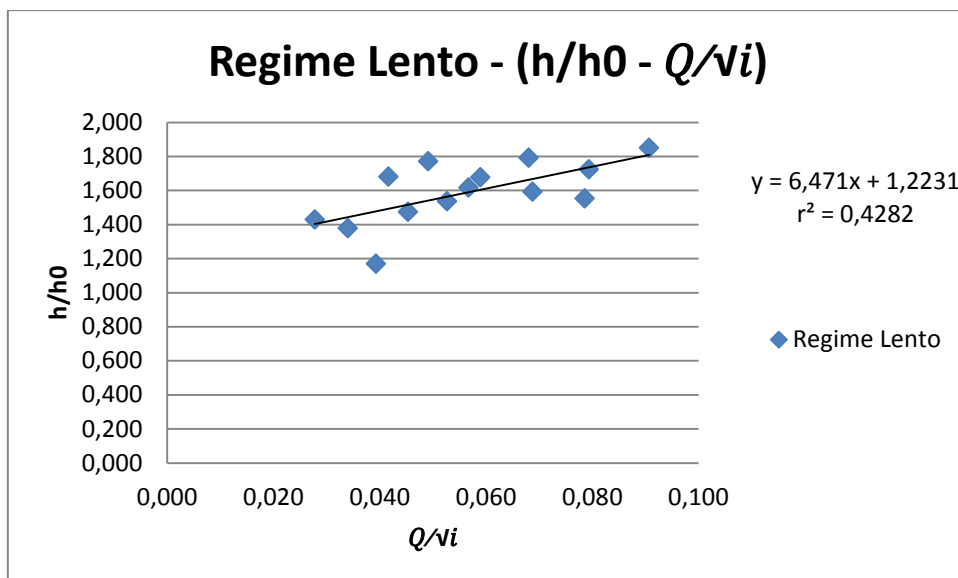


Figura 3.28 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime lento para o cenário h5.

Para as situações de escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,16 e 1,85, verificando-se assim que o aumento percentual das alturas de escoamento, se situa aproximadamente entre os 16% e os 85%, sendo maior quanto maior o valor de Q/v_i (Figura 3.28).

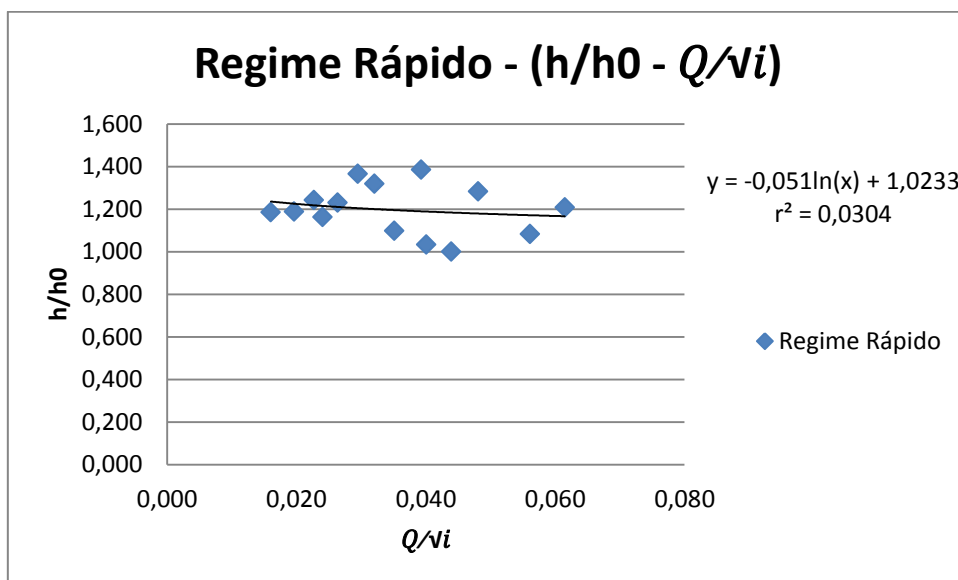


Figura 3.29 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime rápido para o cenário h5.

Os valores de h/h_0 para o regime rápido, variam entre aproximadamente 1,0 e 1,4. Há uma medição de $h/h_0=1$, o que significa que nessa situação, apesar de haver um elevado grau de obstrução no canal, não há sobrelevação da lâmina líquida do escoamento. Neste caso a máxima elevação da altura de água é de cerca de 40%, face ao ensaio base.

As leituras para Q/\sqrt{i} entre 0,03 e 0,05 têm valores de h/h_0 de aproximadamente 1 ou aproximadamente 1,4, havendo nesse intervalo muito poucas leituras entre 1,0 e 1,4.

Para valores de Q/\sqrt{i} entre 0,015 e 0,02 há um aumento da percentagem de sobrelevação de água, contudo a partir de $Q/\sqrt{i} = 0,02$ até 0,06 verifica-se a diminuição do aumento da lâmina líquida.

Este afastamento à linha de tendência origina um coeficiente de correlação muito baixo, para o regime em causa ($r^2 = 0,03$) (Figura 3.29).

- Classe de obstrução: 5
- 30 leituras
- 14 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,0
- (h/h_0) médio = 1,408
- (h/h_0) máximo = 1,849

Apesar de este cenário corresponder à maior classe de obstrução, verificou-se a existência de valores de h/h_0 muito próximos da unidade e inclusivamente, iguais à unidade. Portanto, para este cenário o aumento da percentagem de obstrução do canal nem sempre resulta na altura da lâmina líquida do escoamento, podendo em alguns casos não haver nenhum aumento da altura de água em comparação com o ensaio base.

No regime lento o r^2 tem um valor bastante mais elevado do que no regime rápido.

Cenário h6

Neste cenário o sensor localiza-se na parte de montante do canal. Ao longo do canal estão dispostos 4 obstáculos, 2 a montante do sensor e 2 a jusante. Os obstáculos encontram-se em duas bandas centrais do canal, paralelas às paredes laterais, originando um grau de obstrução de 41,19%.



Figura 3.30 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h6.

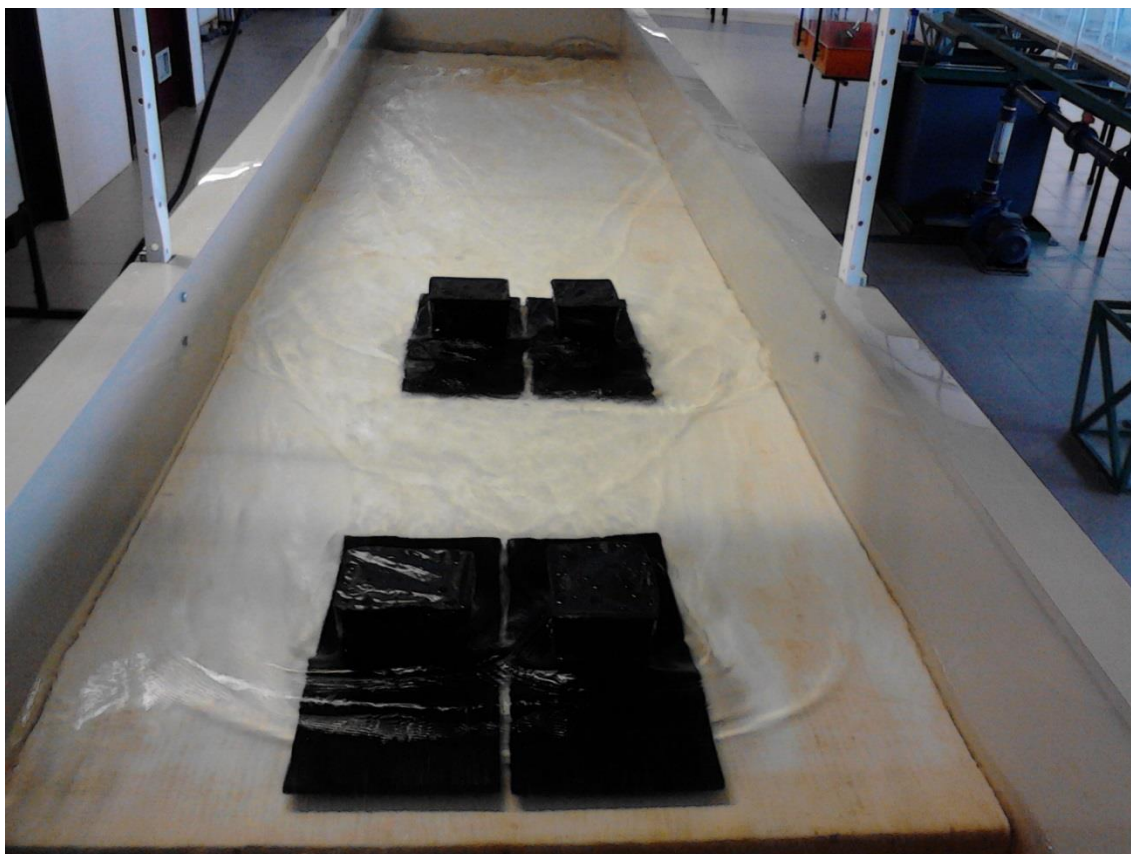


Figura 3.31 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h6.

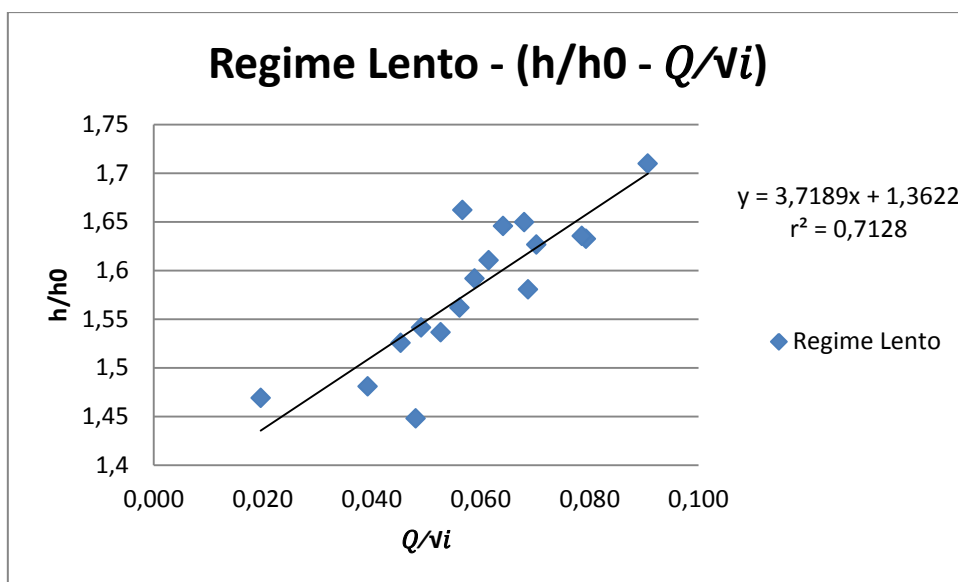


Figura 3.32 - Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h6.

Para as situações de escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,44 e 1,72, verificando-se assim que o aumento percentual das alturas de escoamento, se situa aproximadamente entre os 44% e os 72%, sendo maior quanto maior o valor de Q/\sqrt{i} .

Para este regime, após se retirarem as 5 primeiras leituras de h/h_0 , passou-se de um $r^2 = 0,066$ para $r^2 = 0,713$, ainda assim os valores encontram-se mais próximos à linha de tendência para Q/\sqrt{i} compreendidos entre 0,045 e 0,075.

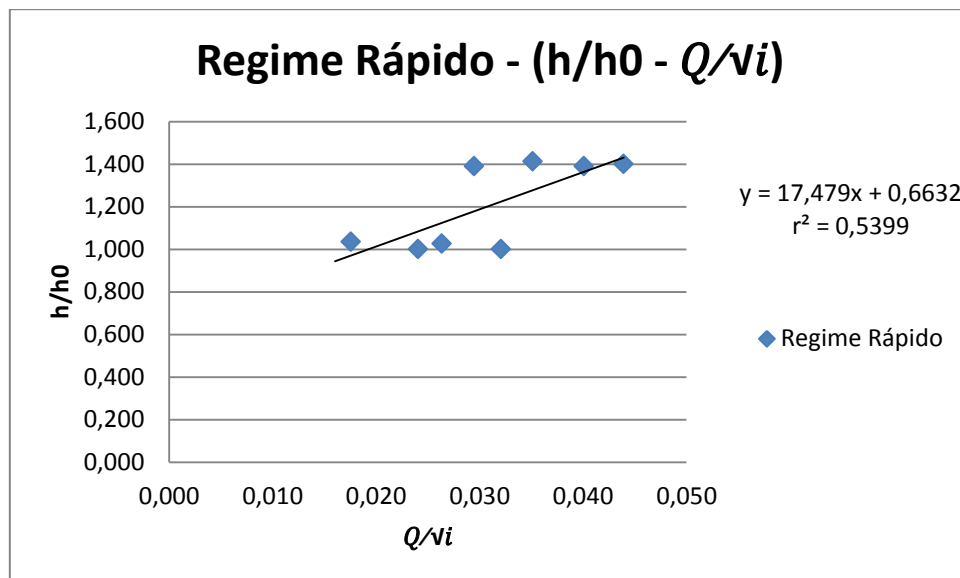


Figura 3.33 – Relação h/h_0 – Q/\sqrt{i} do regime rápido para o cenário h6.

No regime rápido os valores formam 2 grupos. O primeiro tem 4 leituras e h/h_0 é aproximadamente 1. O segundo também tem 4 leituras mas h/h_0 é aproximadamente 1,4. Entre $h/h_0 = 1$ e $h/h_0 = 1,4$ não há nenhuma leitura (Figura 3.33).

Dados (caudal e inclinação) das 4 leituras com $h/h_0 = 1$:

Caudal (m ³ /h)	10	15	15	20
i(m/m)	0,025	0,025	0,03	0,03
h/h ₀	1,034	1,026	1,0	1,0

Dados (caudal e inclinação) das 4 leituras com $h/h_0 = 1,4$:

Caudal (m ³ /h)	15	20	25	25
i(m/m)	0,02	0,025	0,025	0,03
h/h ₀	1,390	1,412	1,4	1,39

Portanto qualquer um dos grupos tem em comum caudais baixos e inclinações elevadas.

Apesar do comportamento pouco comum dos valores para o regime rápido, ambos os regimes apresentam bons coeficientes de correlação em relação aos restantes cenários estudados.

- Classe de obstrução: 3
- 25 leituras
- 8 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,0
- (h/h_0) médio = 1,462
- (h/h_0) máximo = 1,710

Após análise dos resultados (ver figuras 3.32 e 3.33), conclui-se que para o h/h_0 mínimo não há aumento percentual da lâmina líquida do escoamento e há um máximo de cerca de 71%. Em média a altura de água, para as condições de escoamento provocadas por este cenário aumenta cerca de 46%.

Cenário h7

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal.

Ao longo do canal estão distribuídos 10 obstáculos, estando 4 a montante do sensor, 4 a jusante e 2 alinhados paralelamente ao leitor. Os obstáculos encontram-se igualmente distribuídos junto às paredes laterais do canal, correspondendo a um grau de obstrução de 41,19%.

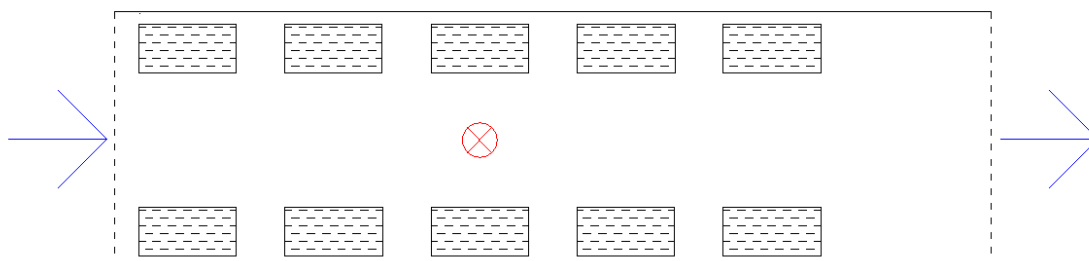


Figura 3.34 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h7.

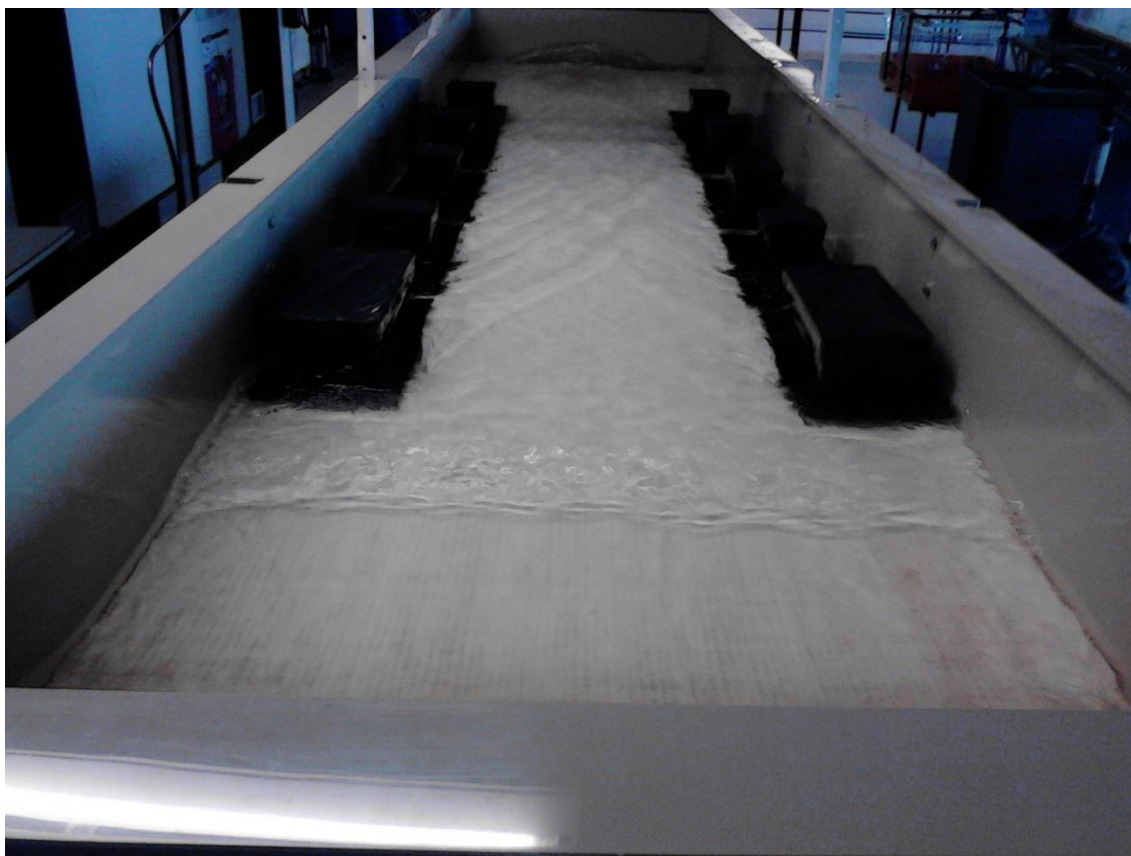


Figura 3.35 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h7.

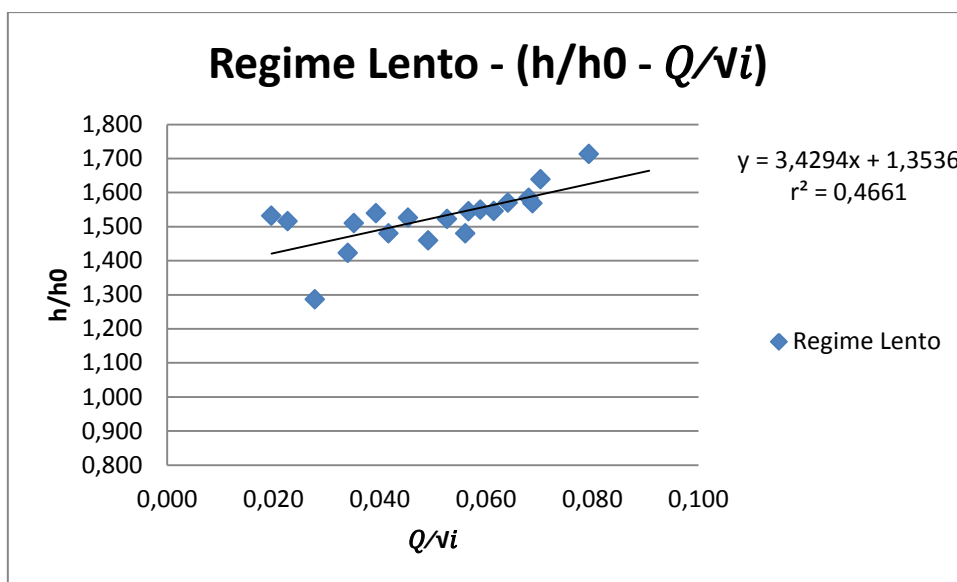


Figura 3.36 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h7.

Para as situações de escoamento em regime lento, há uma variação de h/h_0 entre 1,28 e 1,72, o que corresponde a um aumento mínimo de 28% e máximo de 72% da altura de água, sobre o cenário base. Contudo estas duas medições encontram-se afastadas da linha de tendência e das restantes leituras, estando as restantes medições compreendidas entre 1,4 e 1,6.

As situações cuja relação de Q/\sqrt{i} é maior que 0,025 são acompanhadas pelo aumento de h/h_0 (Figura 3.36).

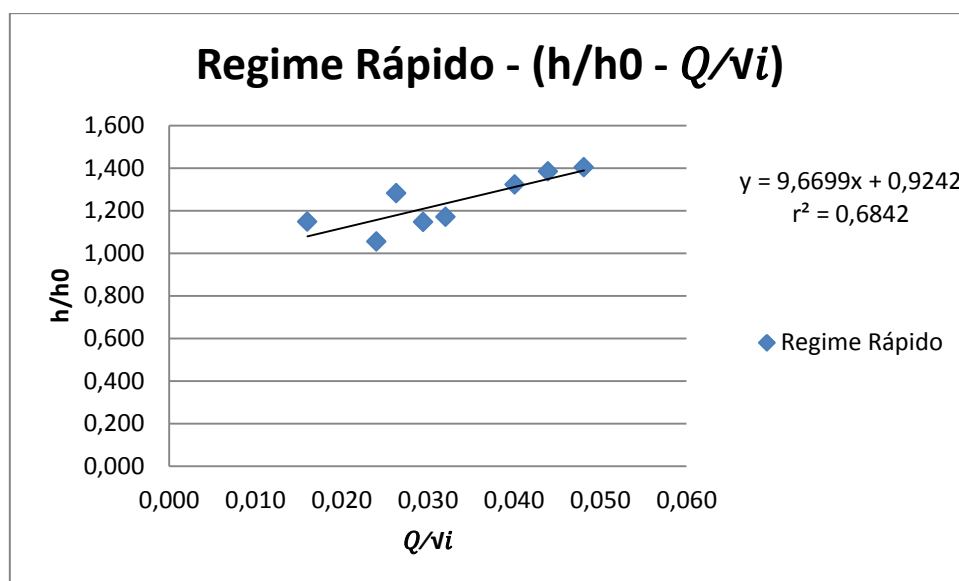


Figura 3.37 – Relação h/h_0 – Q/\sqrt{i} do regime rápido para o cenário h7.

Para as situações de escoamento em regime rápido, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,05 e 1,5, verificando-se assim que o aumento percentual das alturas de escoamento, se situa aproximadamente entre os 5% e os 50%, sendo maiores quanto maior a relação de Q/\sqrt{i} (Figura 3.37).

- Classe de obstrução: 3
- 27 leituras
- 8 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,054
- (h/h_0) médio = 1,44
- (h/h_0) máximo = 1,713

Através da comparação entre ambos os gráficos do cenário h7, conclui-se que apenas 1/3 do total das medições, para este cenário, pertence ao regime rápido, traduzindo-se portanto um cenário onde predomina o escoamento em regime lento.

A sobrelevação mínima da altura de água ronda os 5% e a máxima os 71%, sendo o aumento médio na ordem dos 44%.

Cenário h8

Cenário no qual o sensor se localiza na parte central do canal. Ao longo do canal encontram-se 8 obstáculos, estando 4 a montante do sensor e 4 a jusante. Do lado direito os 4 veículos estão alinhados paralelamente à lateral do canal, enquanto do lado esquerdo estão dispostos em espinha. A disposição do lado direito não é simétrica com a do lado esquerdo do canal, existindo maior obstrução ao escoamento na lateral dos carros dispostos em espinha. No total, os obstáculos provocam um grau de obstrução de 41,19%.

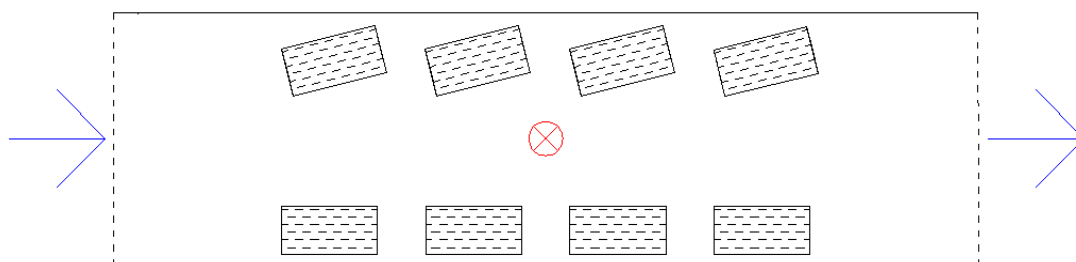


Figura 3.38 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h8.



Figura 3.39 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h8.

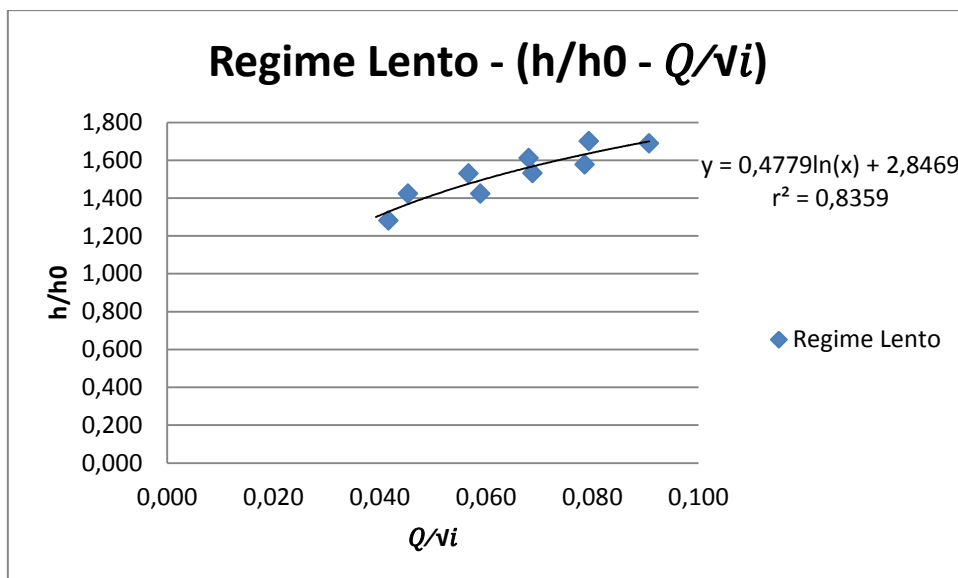


Figura 3.40 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h8.

Para o escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,2 e 1,71, existindo um aumento percentual das alturas de escoamento entre aproximadamente os 20% e os 71%, sendo maiores quanto maior for a relação de Q/\sqrt{i} . As medições têm um bom ajuste à linha de tendência (Figura 3.40).

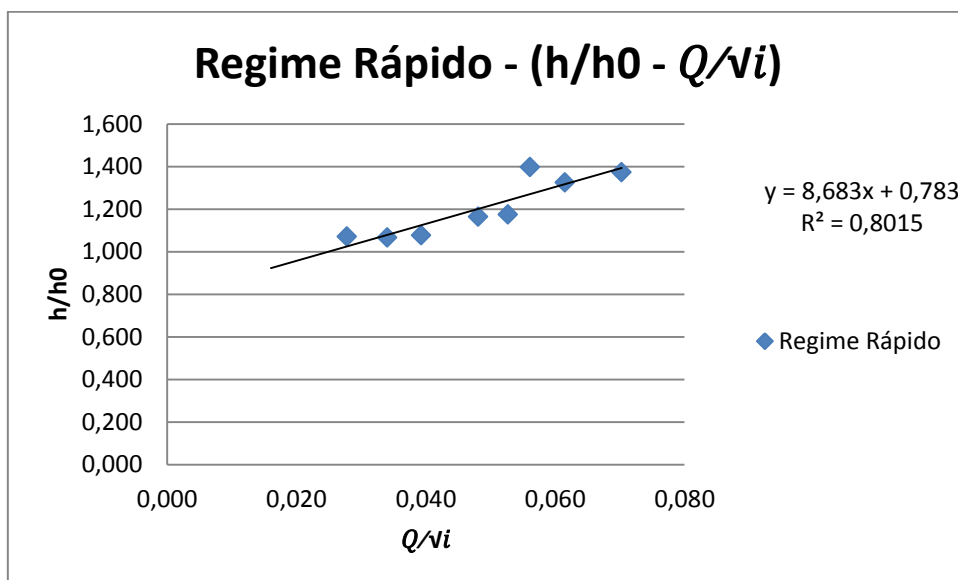


Figura 3.41 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h8.

Neste regime os valores de h/h_0 variam entre aproximadamente 1,05 e 1,4, originando uma sobrelevação da lâmina líquida de 5% a 40% em relação ao cenário base. O aumento percentual da altura da lâmina líquida é maior, quanto maior for Q/\sqrt{i} (Figura 3.41).

- Classe de obstrução: 3
- 28 leituras
- 18 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,067
- (h/h_0) médio = 1,384
- (h/h_0) máximo = 1,701

Das 31 medições efetuadas foram removidas 11 por apresentarem valores de $h/h_0 < 1$, e consequentemente não serem valores conservativos. Esta situação deve-se às correntes transversas originadas pelos obstáculos posicionados em forma de espinha, gerando variação da altura de água ao longo do canal.

A sobrelevação mínima da altura de água é cerca de 6% e a máxima os 70%, sendo o aumento médio de cerca de 38%.

Cenário h9

Cenário no qual o sensor se localiza na parte central do canal. Ao longo do canal estão distribuídos 6 obstáculos, dos quais 3 a montante do sensor e 3 a jusante. Os obstáculos estão dispostos numa única fileira, paralela às laterais do canal, provocando um grau de obstrução de 20,60%.

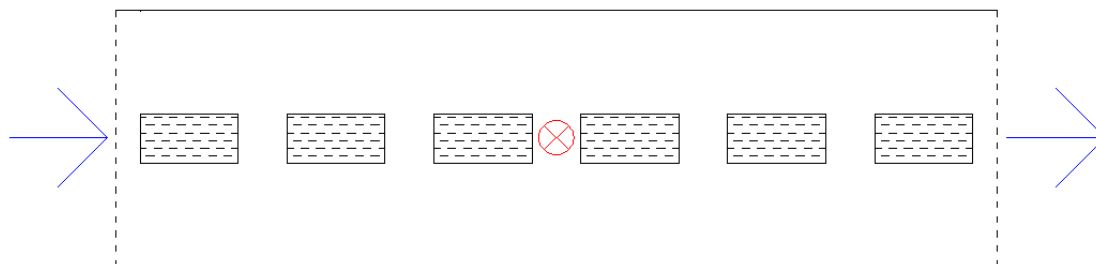


Figura 3.42 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h9.

Cenário no qual o sensor se localiza na parte central do canal. Ao longo do canal estão distribuídos 6 obstáculos, dos quais 3 a montante do sensor e 3 a jusante. Os obstáculos estão dispostos numa única fileira, paralela às laterais do canal, provocando um grau de obstrução de 20,60%.



Figura 3.43 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h9.

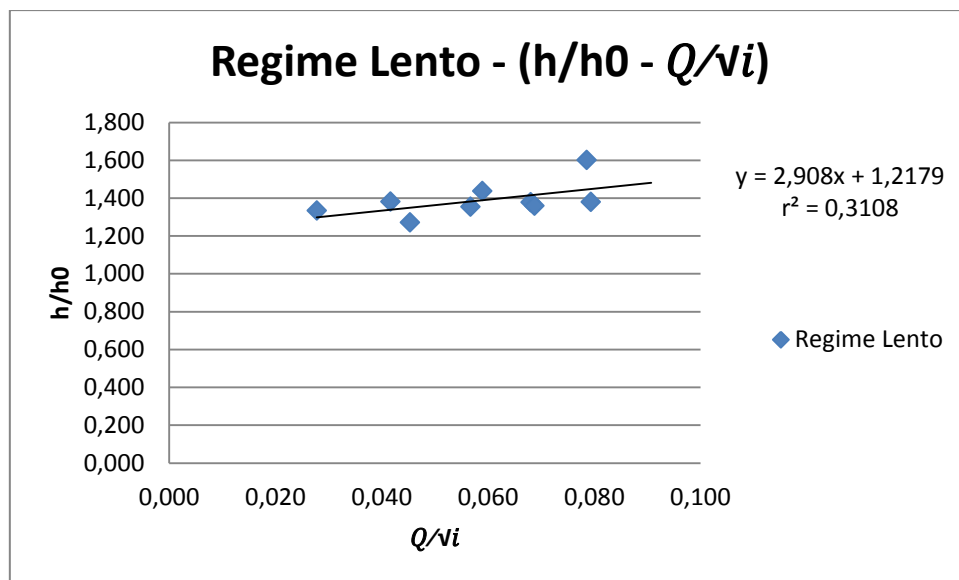


Figura 3.44 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h9.

Para o regime lento os valores de h/h_0 variam entre aproximadamente 1,25 e 1,6, o que se traduz num aumento percentual da lâmina líquida de um mínimo de 25% a um máximo de 60%, sendo maior o aumento quanto maior for a relação de Q/\sqrt{i} (Figura 3.44).

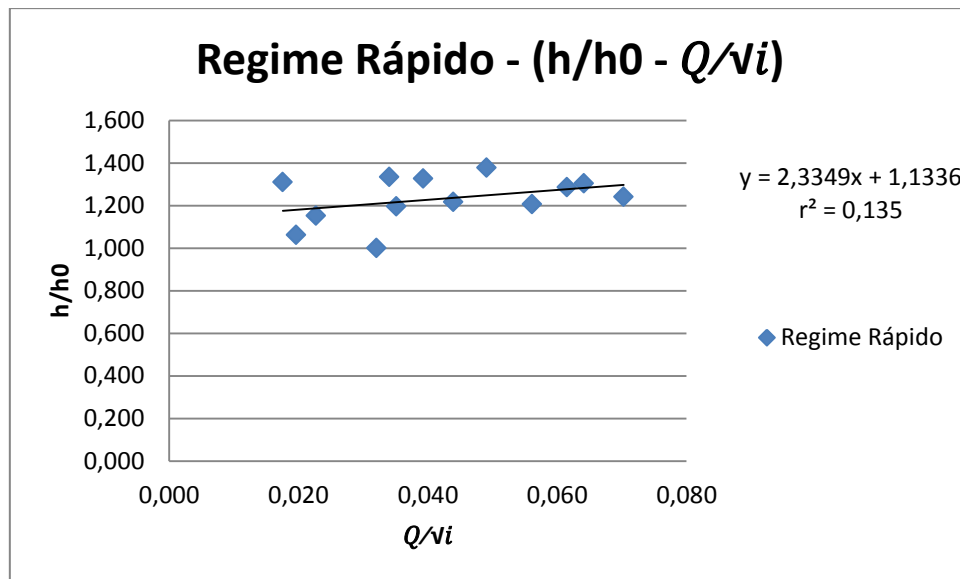


Figura 3.45 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime rápido para o cenário h9.

Para o regime rápido os valores de h/h_0 variam entre aproximadamente 1,0 e 1,4, o que significa que apesar de haver obstáculos no canal nem sempre provocam um aumento da altura de água. No máximo o aumento da lâmina líquida é de cerca de 40% (Figura 3.45).

Das 31 medições efetuadas foram removidas 9 por apresentarem valores de $h/h_0 < 1$, e consequentemente não serem valores conservativos.

- Classe de obstrução: 1
- 22 leituras
- 13 em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,0
- (h/h_0) médio = 1,295
- (h/h_0) máximo = 1,6

Apesar do baixo grau de obstrução, foram removidas 9 medições das quais 7 apresentavam valores de $h/h_0 < 1$ e consequentemente não forneciam valores conservativos.

Após análise dos gráficos, conclui-se que para o h/h_0 mínimo não há aumento percentual da lâmina líquida e há um máximo de cerca de 60%. Na média o aumento da altura de água é de aproximadamente 30%.

Cenário h10

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal encontram-se 2 obstáculos, 1 a montante do sensor e 1 a jusante. Os obstáculos estão dispostos numa única fileira, paralela às laterais do canal, provocando um grau de obstrução de 20,60%.

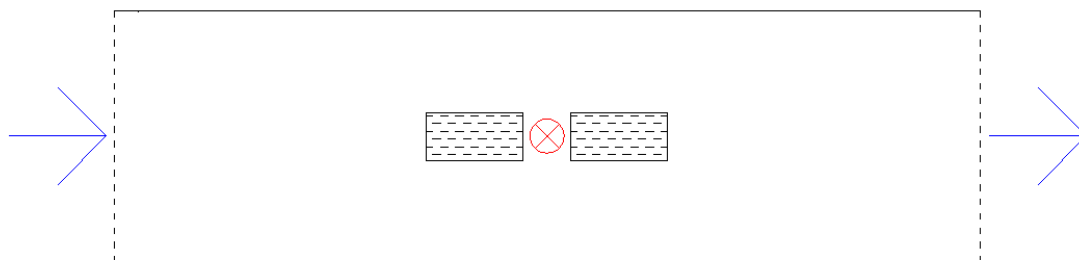


Figura 3.46 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h10.

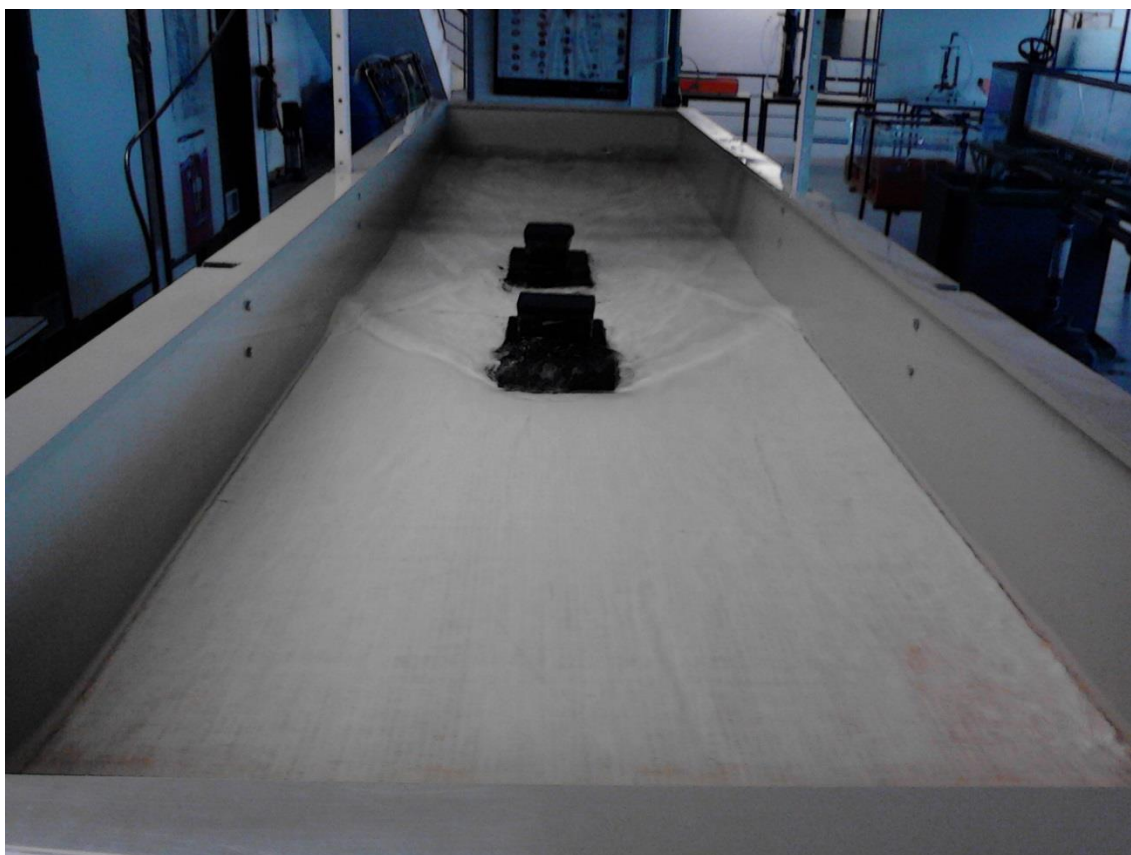


Figura 3.47 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h10.

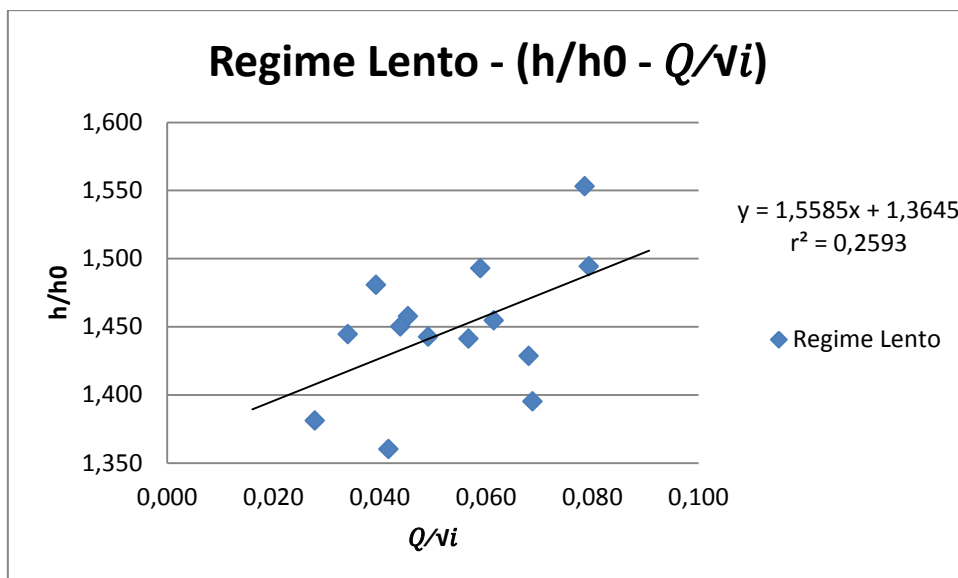


Figura 3.48 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime lento para o cenário h10.

Para o regime lento os valores de h/h_0 variam entre aproximadamente 1,35 e 1,55, o que se traduz num aumento percentual da lâmina líquida de um mínimo de 35% a um máximo de 55% (Figura 3.48).

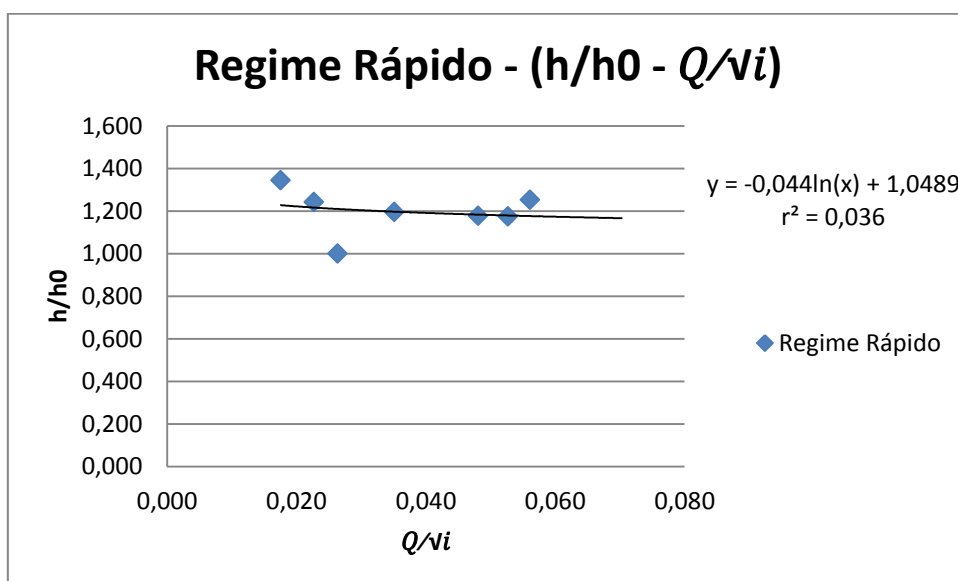


Figura 3.49 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime rápido para o cenário h10.

Os valores de h/h_0 , para o regime rápido, variam entre aproximadamente 1,0 e 1,3. Este regime tem apenas uma leitura com $h/h_0 = 1$, as restantes leituras ocorrem para valores de h/h_0 situados entre aproximadamente 1,2 e 1,4 (Figura 3.49).

- Classe de obstrução: 1
- 22 leituras

- 8 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,0
- (h/h_0) médio = 1,364
- (h/h_0) máximo = 1,553

Em semelhança ao ocorrido nos cenários h8 e h9, foram removidos 7 de um total de 9 medições por apresentarem valores de $h/h_0 < 1$. Tal como no regime rápido do cenário h9, o valor de h/h_0 mais baixo é igual a 1, ou seja, para essa leitura a presença de obstáculos não provoca o aumento da altura de água no canal. Ambos os regimes têm também em comum a classe de obstrução 1.

Após análise dos gráficos, conclui-se que para o h/h_0 mínimo não há aumento percentual da lâmina líquida e há um máximo de cerca de 55%. Na média o aumento da altura de água é de aproximadamente 37%.

Cenário h11

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal estão dispostos 6 obstáculos, dos quais 3 se localizam a montante do sensor e 3 a jusante, alinhados em 2 fileiras transversais às paredes laterais do canal e que originam um grau de obstrução de 61,79%.

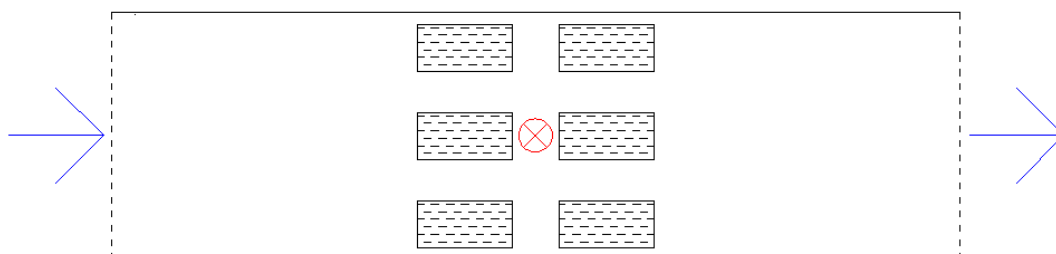


Figura 3.50 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h11.

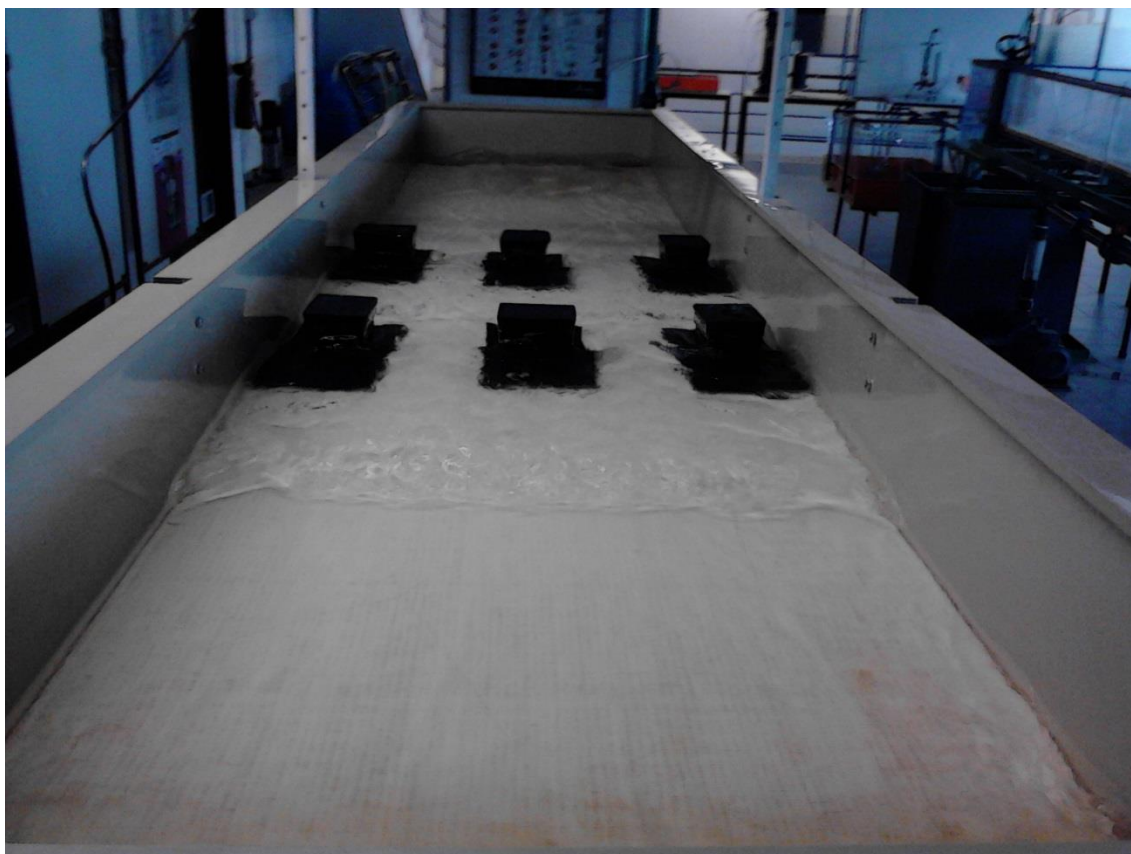


Figura 3.51 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h11.

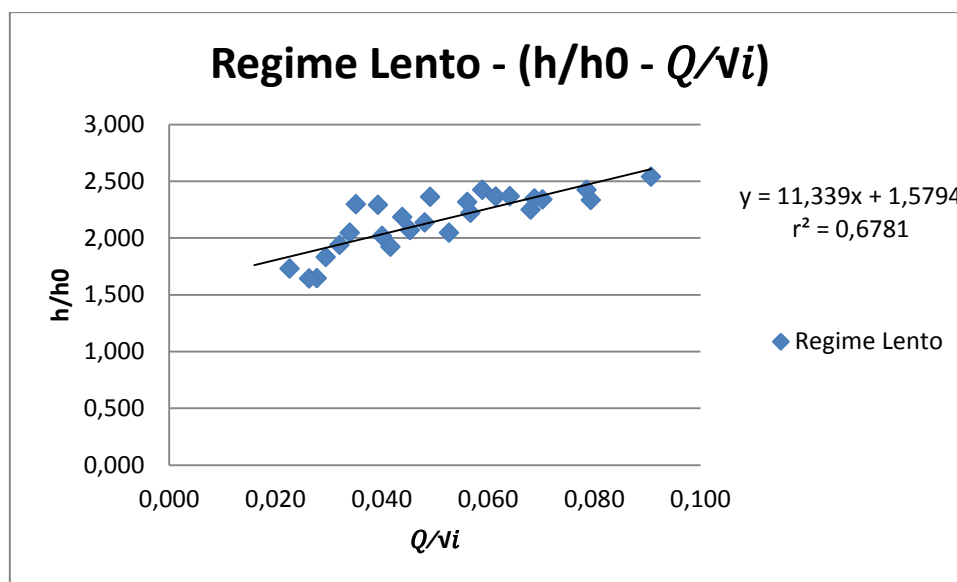


Figura 3.52 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h11.

Os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,6 e 2,54, traduzindo-se estes valores num aumento percentual das alturas de escoamento entre um mínimo de 60% e um máximo de 154%, sendo tanto maior quanto maiores os valores de Q/\sqrt{i} (Figura 3.52).

As características do caudal escoado, inclinação do fundo e da quantidade e disposição dos obstáculos fazem deste, um cenário crítico face ao aumento percentual da altura de água.

- Classe de obstrução: 4
- 28 leituras
- 2 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,219
- (h/h_0) médio = 2,091
- (h/h_0) máximo = 2,538

Para o único regime predominante neste cenário (ver figura 3.52), conclui-se que no mínimo há o aumento percentual da lâmina líquida de aproximadamente 22% e há um máximo de aproximadamente 154%. Em média o aumento da altura de água é de cerca de 109%.

A grande variação entre as alturas mínimas e máximas é resultado da classe de obstrução 4 e da disposição de veículos, que introduz correntes cruzadas no escoamento e consequentemente variação nas alturas de água ao longo do canal.

Cenário h12

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal estão dispostos 8 obstáculos, dos quais 4 se localizam a montante do sensor e 4 a jusante, alinhados em 2 fileiras transversais em relação às paredes laterais do canal e que originam um grau de obstrução de 82,38%.

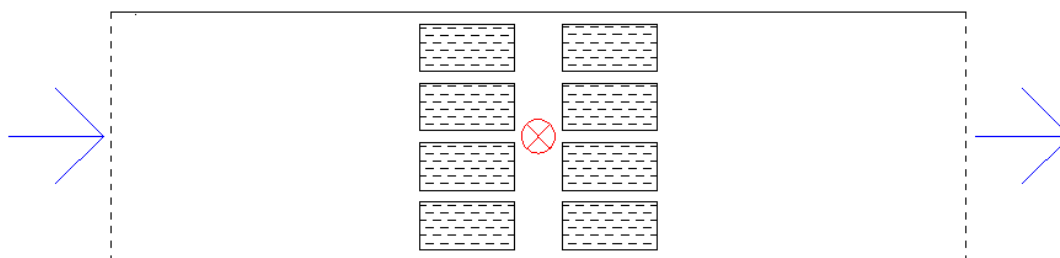


Figura 3.53 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h12.

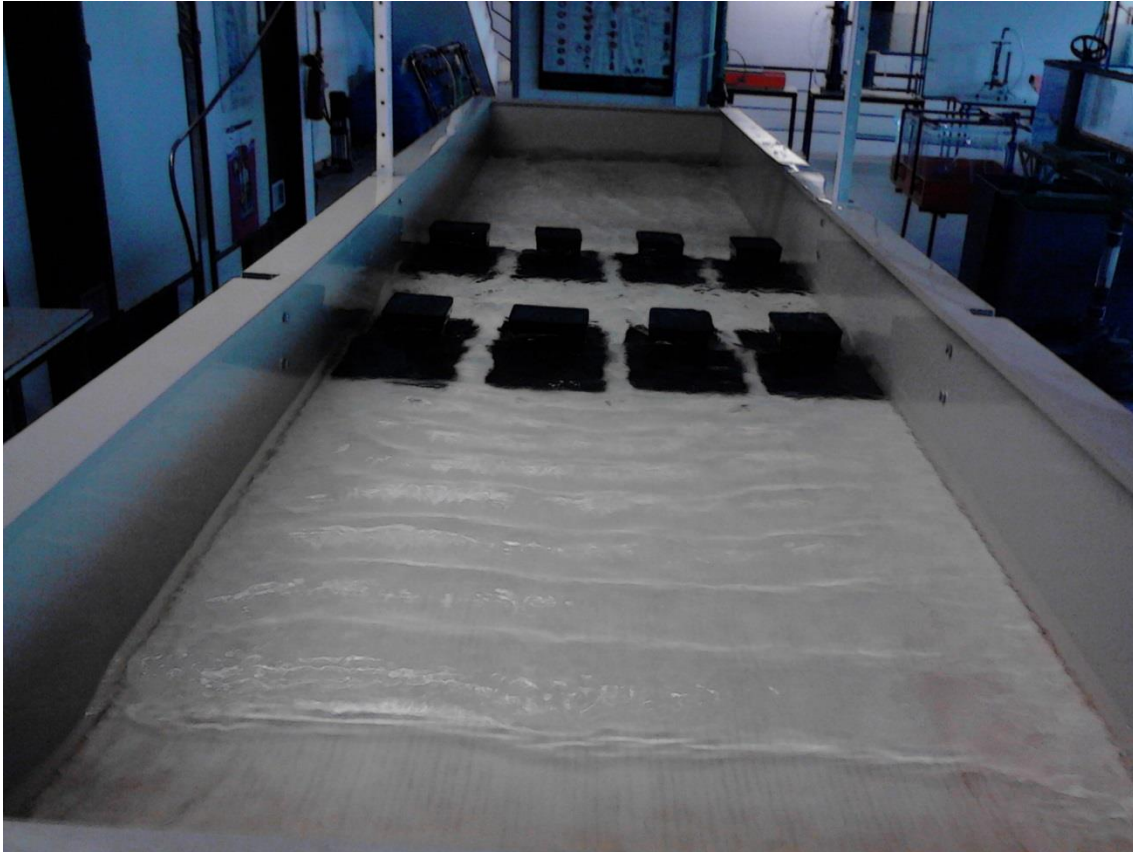


Figura 3.54 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h12.

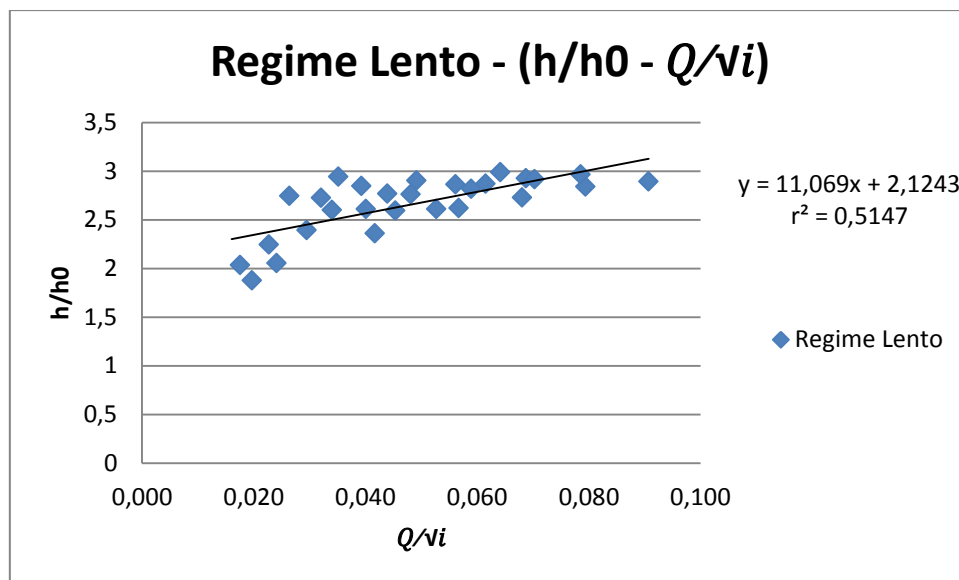


Figura 3.55 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h12.

Os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,87 e 2,99, traduzindo-se estes valores num aumento percentual das alturas de escoamento entre um mínimo de 87% e um máximo de 199%, sendo tanto maior quanto maiores os valores de Q/\sqrt{i} .

Tal como ocorre no cenário h11 há valores de sobrelevação da altura de água muito acentuados, sendo maior o aumento da altura mínima de água neste cenário do que o valor máximo noutros cenários já estudados.

- Classe de obstrução: 5
- 28 leituras
- 0 em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,875
- (h/h_0) médio = 2,66
- (h/h_0) máximo = 2,987

Tanto no cenário h11, como o h12 o escoamento é feito apenas em regime lento. Analisando as variações da sobrelevação para cada cenário, é possível concluir que quanto maior a percentagem de obstrução do canal, maior é a sobrelevação da lâmina líquida e mais se verifica a existência de apenas um regime de escoamento – o regime lento.

Para o cenário h12, no mínimo há um aumento percentual da lâmina líquida de aproximadamente 87% e há um máximo de aproximadamente 199%, ou seja, na pior situação o aumento da altura de água pode ser o triplo em comparação com um escoamento desprovido de obstáculos. Em média o aumento da altura de água é de cerca de 166%.

Cenário h13

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal encontram-se 6 obstáculos, 3 a montante do sensor e 3 a jusante. A disposição dos obstáculos é feita em forma de ziguezague, onde entre cada dois obstáculos há um espaço livre correspondente a aproximadamente a dimensão de um veículo. Os obstáculos provocam um grau de obstrução de 41,19%.

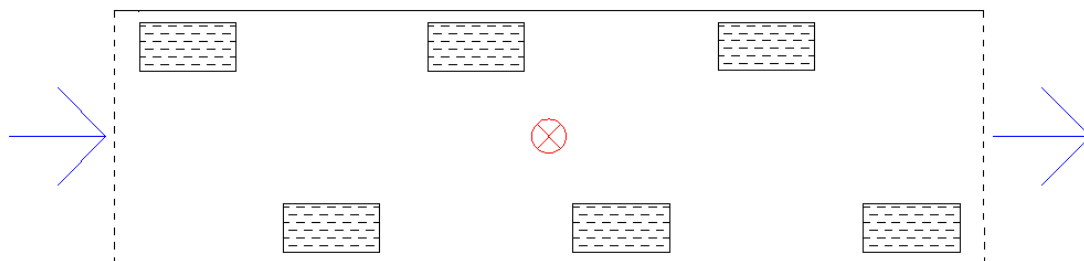


Figura 3.56 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h13.



Figura 3.57 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h13.

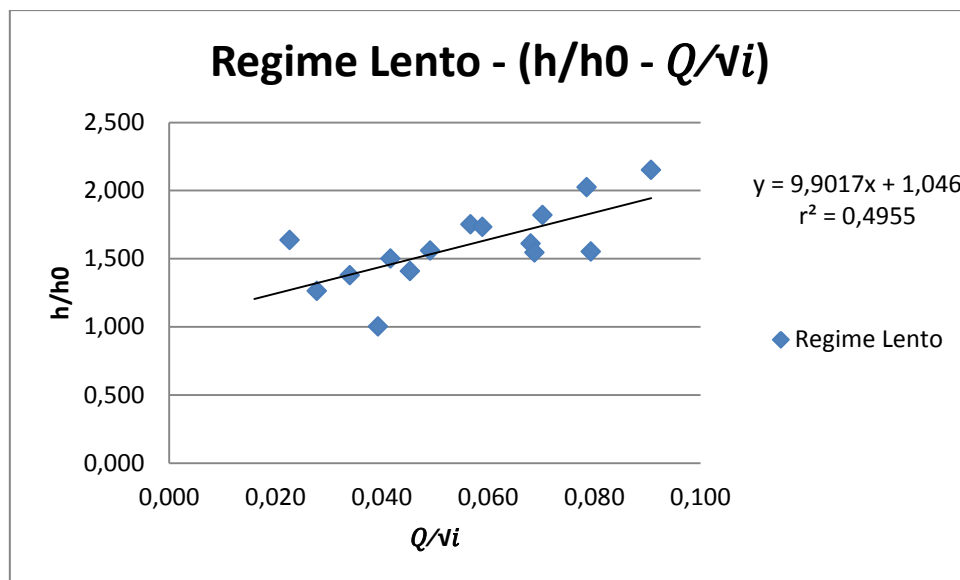


Figura 3.58 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h13.

Para o escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,0 e 2,2. Numa medição verifica-se que a relação $h/h_0 = 1$, portanto mesmo com a presença de obstáculos não há sobrelevação da altura de água. As restantes leituras, variam entre aproximadamente 1,26 e 2,16, provocando um aumento da lâmina líquida de cerca de 26% a 116%. O aumento da altura de água é tanto maior quanto maior é a relação de Q/\sqrt{i} (Figura 3.58).

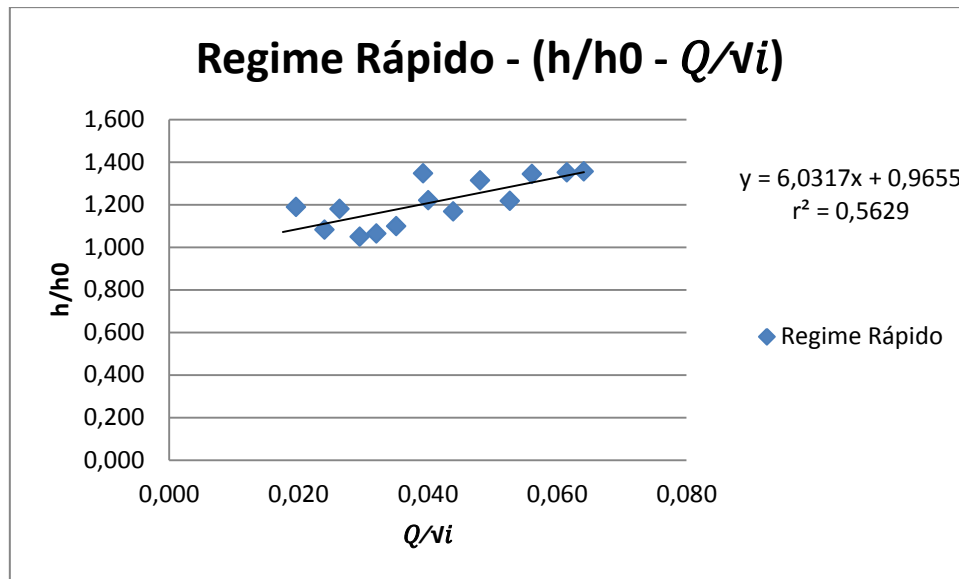


Figura 3.59 – Relação h/h_0 – Q/v_i do regime rápido para o cenário h13.

As medições de h/h_0 para o regime rápido, variam entre aproximadamente 1,04 e 1,4, o que significa que, face ao escoamento base, há um aumento percentual da altura de água de 4% a 40% (Figura 3.59).

- Classe de obstrução 3
- 31 leituras
- 14 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,049
- (h/h_0) médio = 1,41
- (h/h_0) máximo = 2,151

Após análise dos gráficos, conclui-se que há no mínimo um aumento percentual da lâmina líquida do escoamento na ordem dos 4% e um máximo de cerca de 115%, sendo que em média aumenta cerca de 41%.

Cenário h14

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal estão dispostos 8 obstáculos, estando 4 a montante do sensor e 4 a jusante, distribuídos em espinha, alinhados simetricamente e em paralelo às paredes laterais do canal, originando um grau de obstrução de 96,37%.

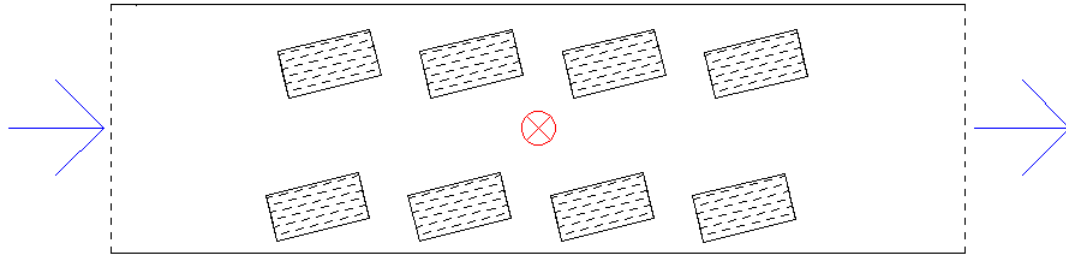


Figura 3.60 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h14.



Figura 3.61 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h14.

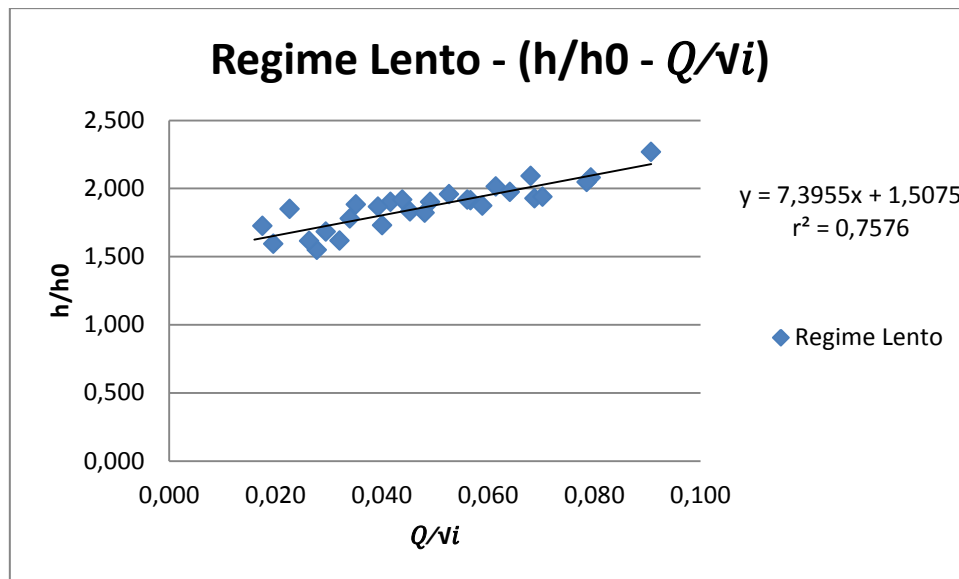


Figura 3.62 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h14.

Os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,4 e 2,27 traduzindo-se estes valores num aumento percentual das alturas de escoamento entre um mínimo de 40% e um máximo de 127%, sendo tanto maior quanto maiores os valores de Q/\sqrt{i} (Figura 3.62).

- Classe de obstrução: 5
- 29 leituras
- 1 leitura em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,378
- (h/h_0) médio = 1,849
- (h/h_0) máximo = 2,269

A grande variação entre o mínimo e o máximo de h/h_0 é consequência da classe de obstrução 5, ou seja, neste cenário em 96,37% da parte frontal do canal há presença de obstáculos originado um escoamento mais lento e consequentemente um aumento da sobrelevação da altura de água.

Em semelhança aos cenários h11 e h12 predomina o regime lento para classes de obstrução 4 e 5.

Cenário h15

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal encontram-se 4 obstáculos, 2 a montante do sensor e 2 a jusante. Os obstáculos estão dispostos em duas fileiras na parte interior do canal, têm a forma de ziguezague e encontram-se paralelas às paredes laterais do canal, provocando um grau de obstrução de 41,19%.

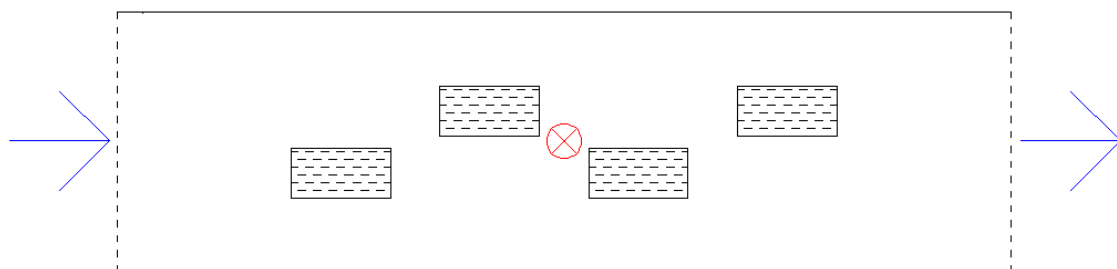


Figura 3.63 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h15.

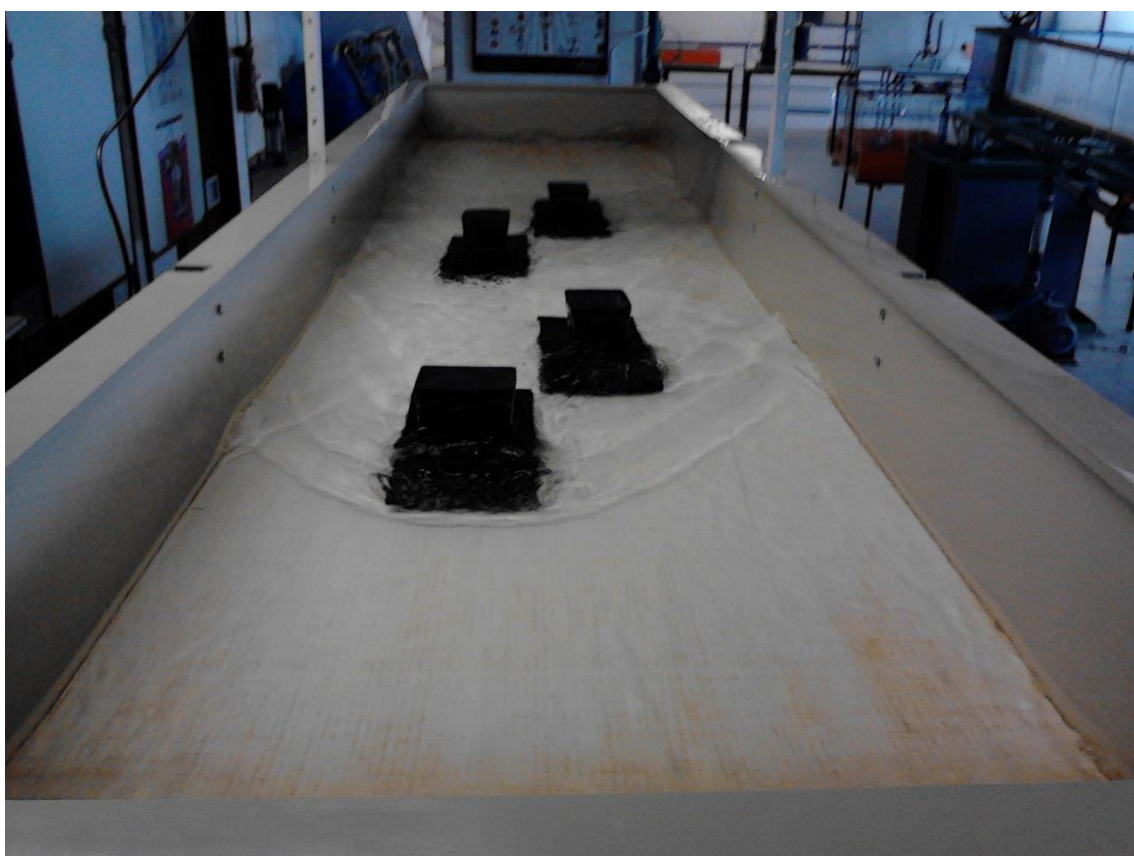


Figura 3.64 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h15.

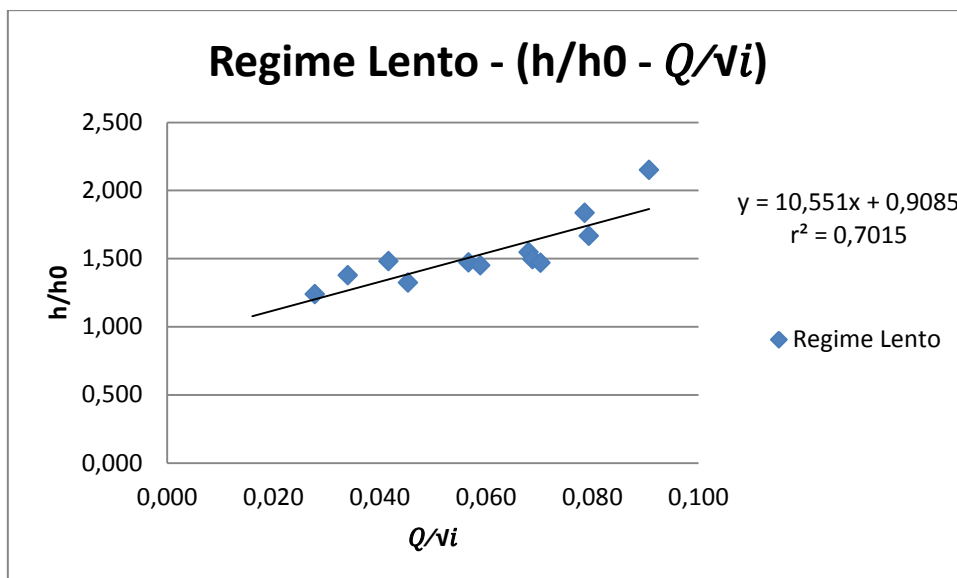


Figura 3.65 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime lento para o cenário h15.

Para o escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,2 e 2,15, existindo um aumento percentual das alturas de escoamento entre aproximadamente entre os 20% e os 115%, sendo maiores quanto maior a relação de Q/v_i . Há uma boa correlação entre as medições (Figura 3.65).

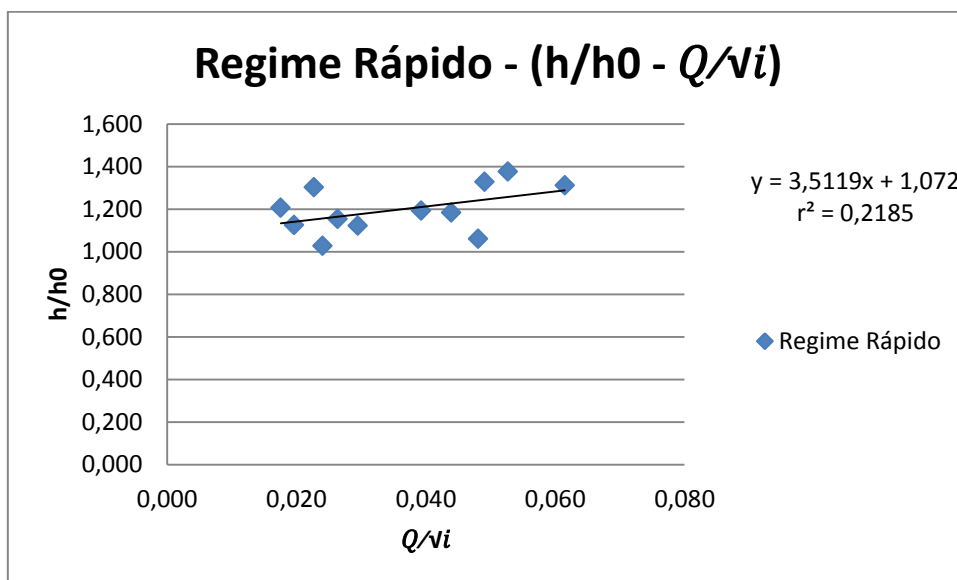


Figura 3.66 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime rápido para o cenário h15.

Neste regime os valores de h/h_0 variam entre aproximadamente 1,02 e 1,4, originando uma sobrelevação da lâmina líquida de 2% a 40%. Neste regime os valores juntam-se em dois grupos, em torno da linha de tendência, pertencendo aos primeiro grupo valores de Q/v_i compreendidos entre 0,02 e 0,03 e ao segundo valores de Q/v_i entre 0,04 e 0,06 (Figura 3.66).

- Classe de obstrução: 3
- 26 leituras
- 13 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,027
- (h/h_0) médio = 1,371
- (h/h_0) máximo = 2,151

O cenário h15 apresenta a mesma quantidade de medições quer para o regime lento, quer para o regime rápido e classe de obstrução 3, tendo portanto as mesmas características e comportamento que o cenário h13.

Após análise dos resultados (ver figuras 3.65 e 3.66), conclui-se que para o h/h_0 mínimo há um aumento percentual da lâmina líquida de aproximadamente 2% e um máximo de aproximadamente de 115%. Em média a altura de água, para as condições de escoamento provocadas por este cenário aumenta cerca de 37%.

Cenário h16

Neste cenário o sensor localiza-se numa parte mais central do canal. Ao longo do canal estão distribuídos 8 obstáculos, localizando-se 4 a montante do sensor e 4 a jusante. Os obstáculos encontram-se igualmente distribuídos em duas faixas na parte mais interior do canal, paralelas às paredes laterais e correspondendo a um grau de obstrução de 41,19%.

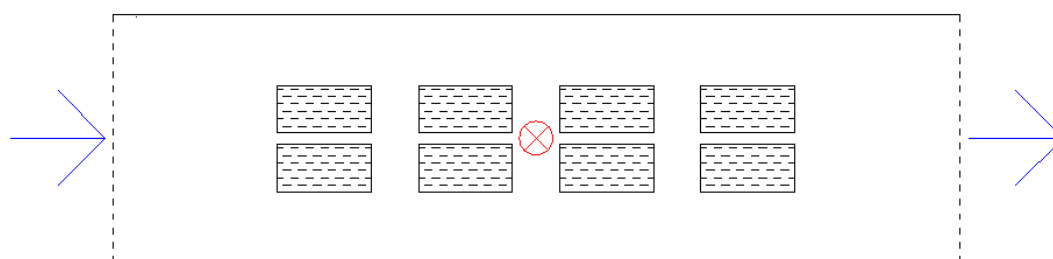


Figura 3.67 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h16.



Figura 3.68 – Disposição dos obstáculos no canal h16.

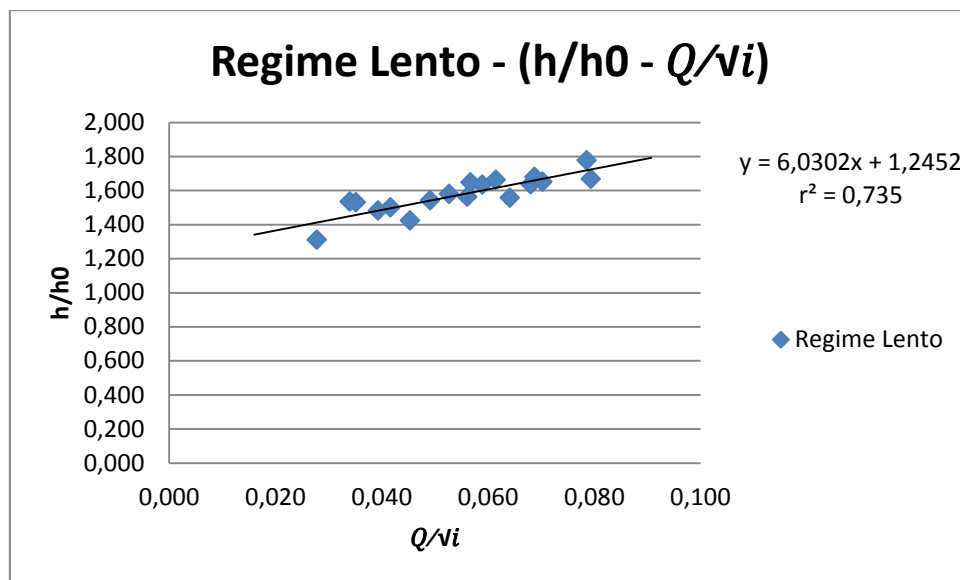


Figura 3.69 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h16.

Para o escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,3 e 1,8, existindo um aumento percentual das alturas de escoamento entre aproximadamente entre os 30% e os 80

%, sendo maiores quanto maior a relação de Q/\sqrt{i} (Figura 3.69).

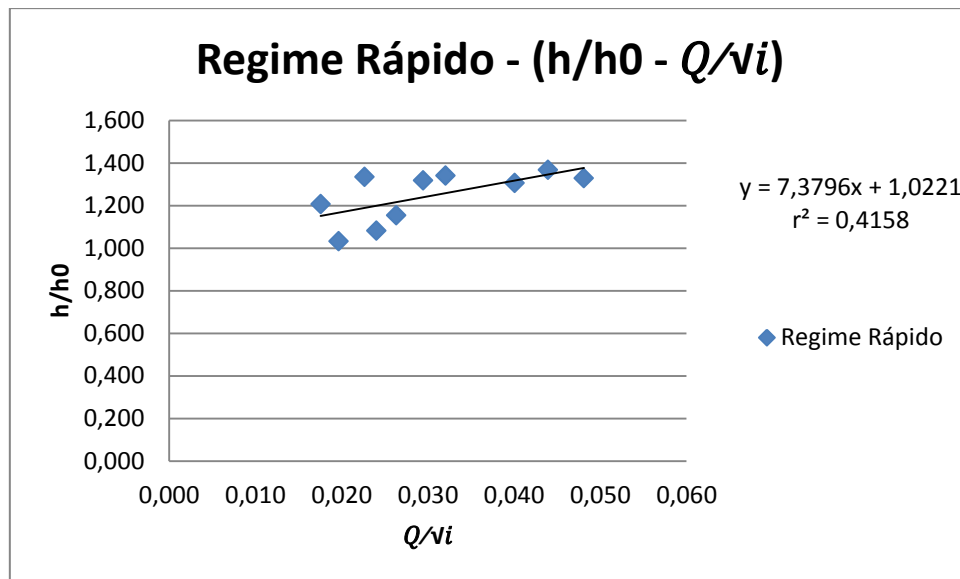


Gráfico 3.70 – Relação $h/h_0 - Q/v_i$ do regime rápido para o cenário h16.

Para as situações de escoamento em regime rápido, há uma variação de h/h_0 entre 1,0 e aproximadamente 1,4. Numa medição verifica-se que a relação $h/h_0 = 1$, mesmo com a presença de obstáculos não há sobrelevação da altura de água. Há no máximo um aumento da lâmina líquida de cerca de 40% (Figura 3.70).

- Classe de obstrução: 3
- 28 leituras
- 10 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,031
- (h/h_0) médio = 1,458
- (h/h_0) máximo = 1,776

O regime de escoamento dominante é o regime lento sendo também o que apresenta melhor correlação.

Após análise dos resultados (ver figuras 3.69 e 3.70), conclui-se que há no mínimo um aumento percentual da lâmina líquida do escoamento na ordem dos 3% e um máximo de cerca de 78%, sendo que em média aumenta cerca de 46%.

Cenário h17

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal encontram-se 8 obstáculos, 3 a montante do sensor, 3 a jusante e 2 sob o sensor juntos às paredes laterais do canal, provocando um grau de obstrução de 61,79%.

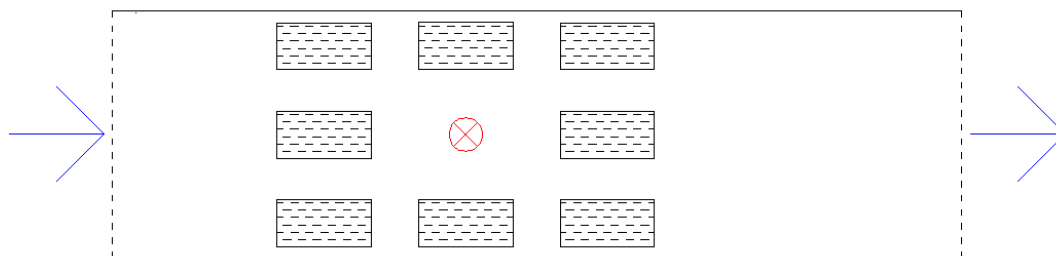


Figura 3.71 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h17.

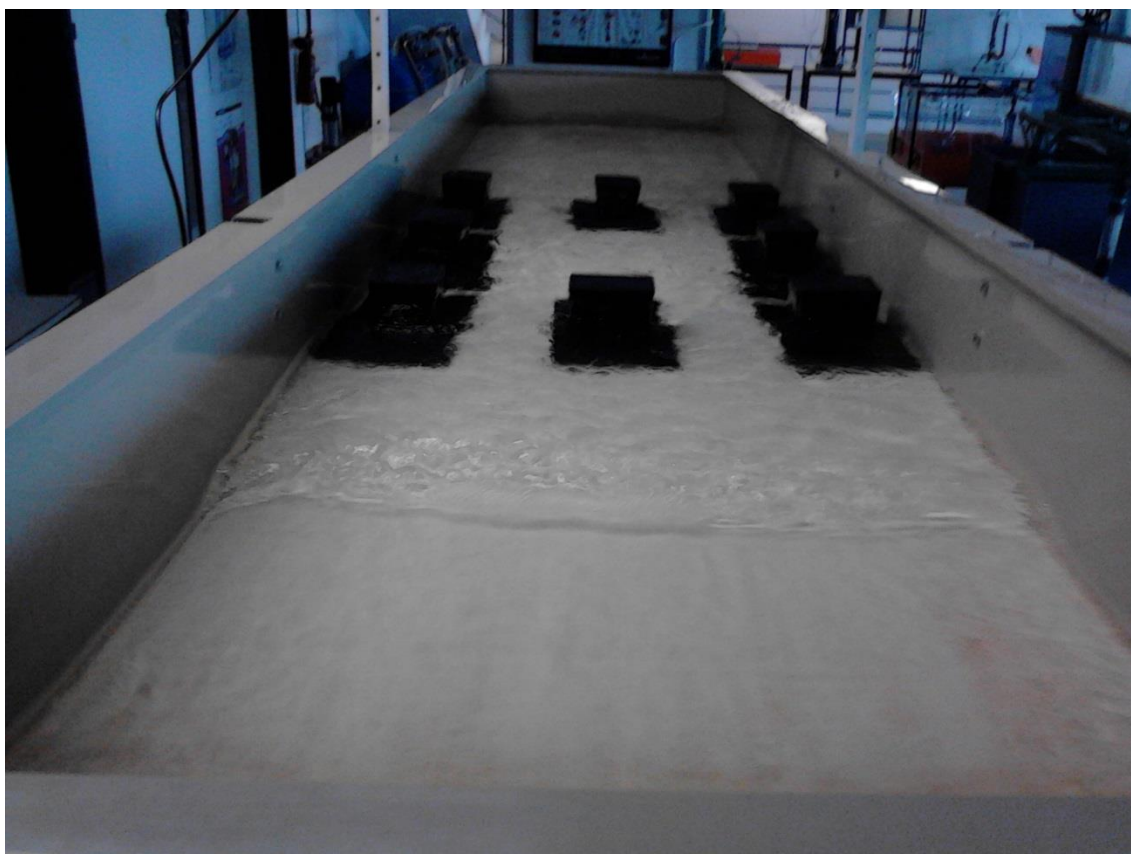


Figura 3.72 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h17.

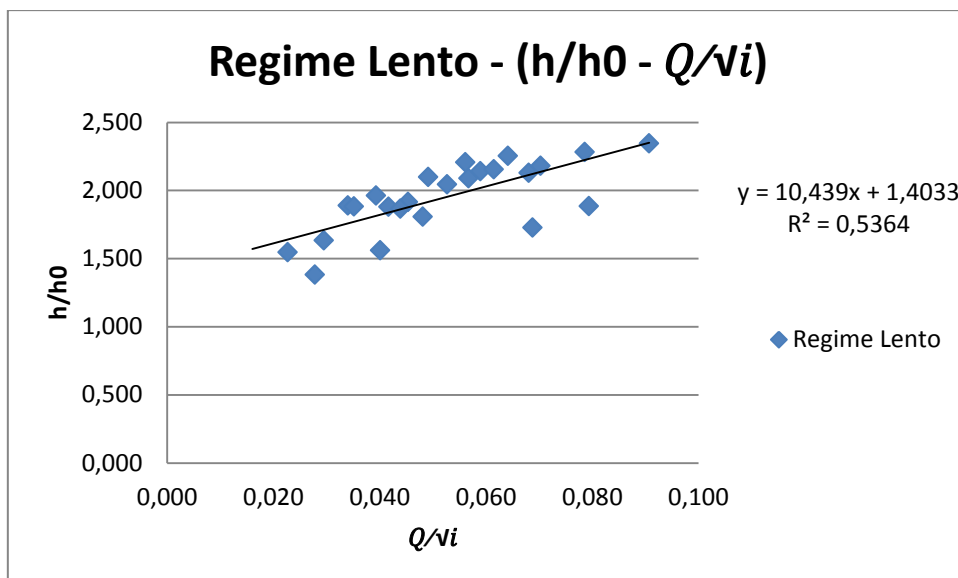


Figura 3.73 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h17.

Para o escoamento em regime lento, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,3 e 2,34, existindo um aumento percentual das alturas de escoamento entre aproximadamente os 30% e os 134%, sendo maiores quanto maior a relação de Q/\sqrt{i} (Figura 3.73).

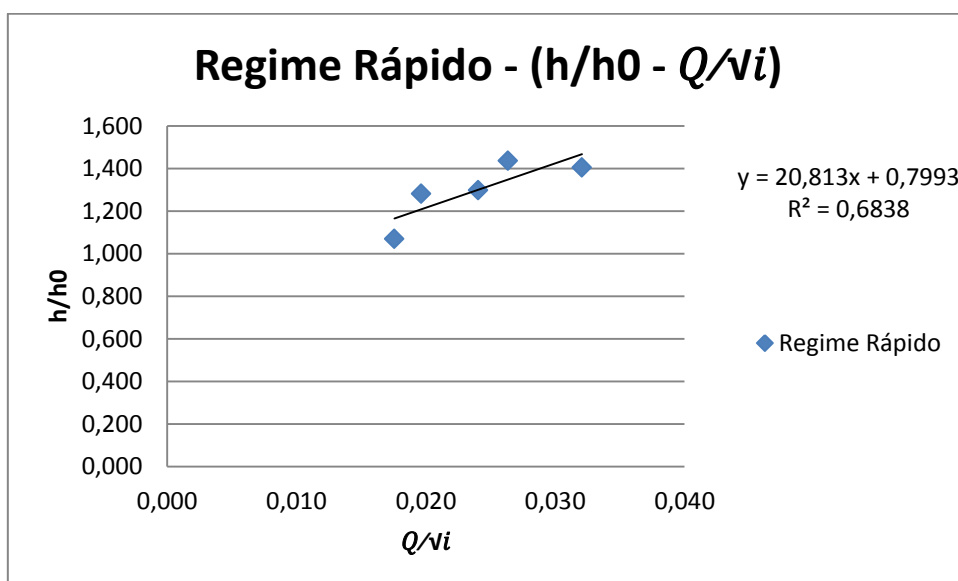


Figura 3.74 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime rápido para o cenário h17.

Para o escoamento em regime rápido, os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,06 e 1,5, existindo um aumento percentual das alturas de escoamento entre aproximadamente entre os 5% e os 50%, sendo maiores quanto maior a relação de Q/\sqrt{i} (Figura 3.74).

- Classe de obstrução: 4
- 29 leituras

- 5 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,069
- (h/h_0) médio = 1,839
- (h/h_0) máximo = 2,344

Após estudo dos resultados do cenário h17 (ver figuras 3.73 e 3.74), conclui-se que no mínimo existe o aumento percentual da lâmina líquida de aproximadamente 6% e há um máximo de aproximadamente 134%. Em média o aumento da altura de água é de cerca de 84%.

Há apenas 5 medições correspondentes ao regime rápido, sendo portanto um cenário no qual as condições de escoamento favorecem o regime lento. A grande variação entre as alturas mínimas e máximas é resultado da classe de obstrução 4 e da disposição de veículos, que introduz correntes cruzadas no escoamento e consequentemente variação nas alturas de água ao longo do canal.

Cenário h18

Neste cenário o sensor localiza-se na parte central do canal. No canal encontram-se 8 obstáculos, 4 a montante do sensor e 4 a jusante. Os 4 obstáculos mais próximos à lateral do canal estão dispostos transversalmente, enquanto os restantes 4 se dispõem em paralelo às paredes laterais do canal. Os obstáculos provocam um grau de obstrução de 68,21%.

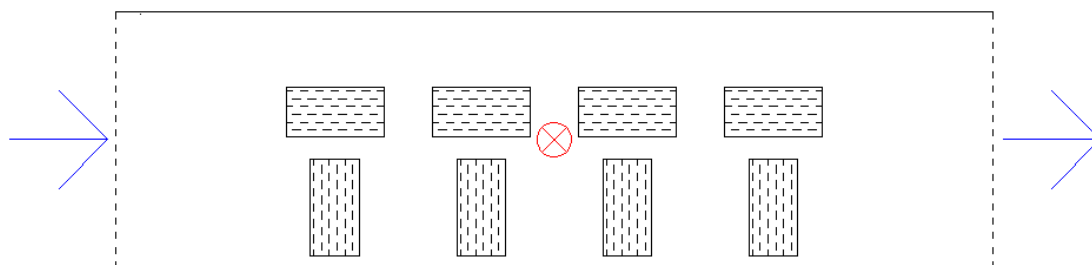


Figura 3.75 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h18.



Figura 3.76 – Disposição dos obstáculos no cenário h18.

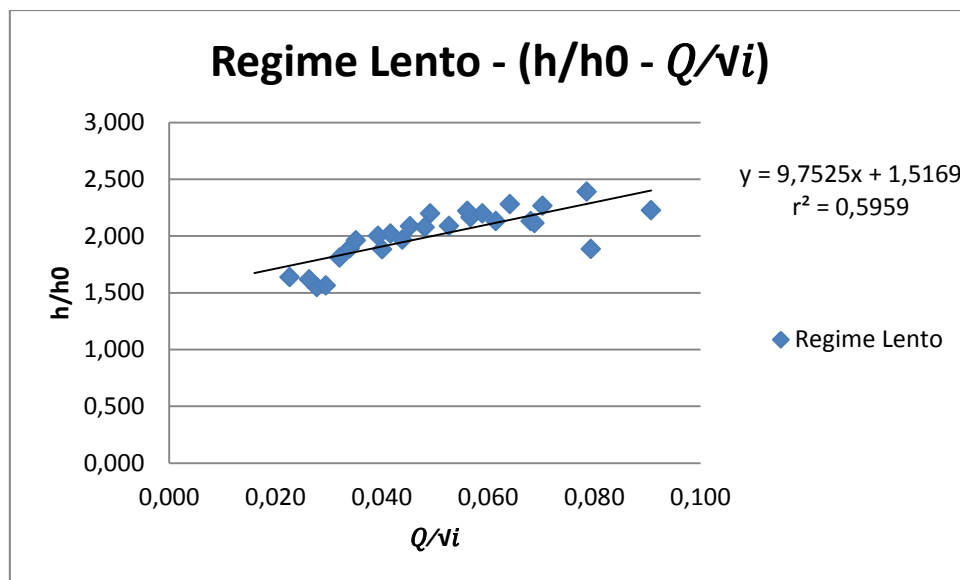


Figura 3.77 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h18.

Os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 1,54 e 2,38 traduzindo-se estes valores num aumento percentual das alturas de escoamento entre um mínimo de 54% e um máximo de 138%, sendo tanto maior quanto maiores os valores de Q/\sqrt{i} (Figura 3.77).

- Classe de obstrução 4
- 31 leituras
- 3 leituras em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 1,548
- (h/h_0) médio = 2,012
- (h/h_0) máximo = 2,388

Após análise dos resultados (ver figura 3.77), conclui-se que para o h/h_0 mínimo há um aumento percentual da lâmina líquida de aproximadamente 54% e um máximo de aproximadamente de 139%. Em média a altura de água, para as condições de escoamento provocadas por este cenário aumenta cerca de 101%.

O aumento mínimo da altura de água apresenta valor muito elevado e ocorre devido à combinação das características do escoamento, inclinação do caudal e classe de obstrução 4.

Cenário h19

Neste cenário o sensor encontra-se na parte montante do canal. Ao longo do canal estão distribuídos 10 obstáculos, todos a jusante do sensor, formando 3 filas transversais às laterais do canal. As duas filas mais próximas ao sensor são formadas por 4 obstáculos cada uma e a fila mais distante é constituída por 2 obstáculos, juntos às paredes laterais do canal.

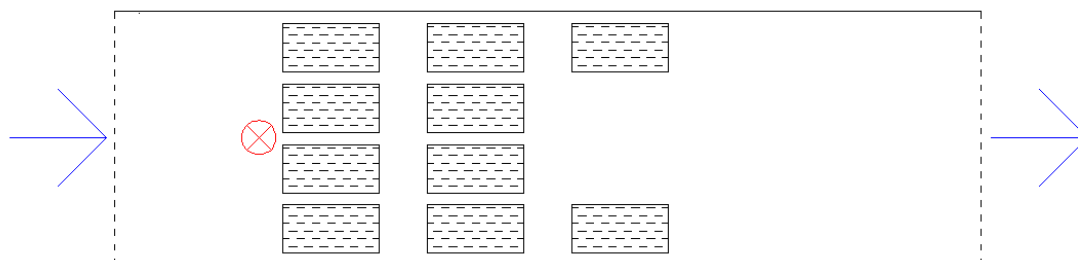


Figura 3.78 – Disposição dos obstáculos em planta e localização do sensor para o cenário h19.



Figura 3.79 – Disposição dos obstáculos no canal para o cenário h19.

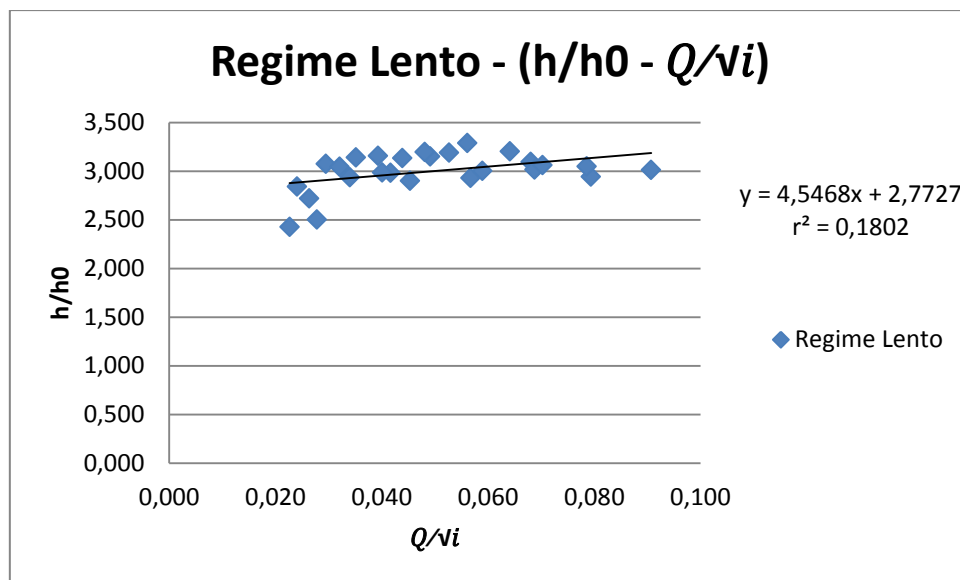


Figura 3.80 – Relação $h/h_0 - Q/\sqrt{i}$ do regime lento para o cenário h19.

Os valores de h/h_0 variam aproximadamente entre 2,42 e 3,28 traduzindo-se estes valores num aumento percentual das alturas de escoamento entre um mínimo de 142% e um máximo de 228% (Figura 3.80).

- Classe de obstrução 5
- 27 leituras
- 1 leitura em regime rápido
- (h/h_0) mínimo = 2,424
- (h/h_0) médio = 2,997
- (h/h_0) máximo = 3,288

Após análise dos resultados (ver figura 3.80), conclui-se que para o h/h_0 mínimo há um aumento percentual da lâmina líquida de aproximadamente 142% e um máximo de aproximadamente de 228%. Em média a altura de água, para as condições de escoamento provocadas por este cenário aumenta cerca de 199%.

Este cenário é mais crítico, uma vez que é o que provoca maior elevação da altura de água, sendo que para a pior medição se verifica um aumento da lâmina líquida de aproximadamente 193% face ao escoamento sem obstáculos.

O cenário h19 é o quinto cenário em estudo onde se considerou apenas a ocorrência de um regime de escoamento, o de regime lento, e no qual tal como nos outros 4 cenários (h11, h12, h14 e h18) predomina uma elevada classe de obstrução: classe 4 ou classe 5.

PARTE IV – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As frequentes cheias urbanas que ocorrem como consequência de precipitações elevadas, em particular nos períodos húmidos do ano, são muitas vezes responsáveis pelo escoamento de elevados caudais nos arruamentos de vilas e cidades, originando assim a questão principal, objeto desta dissertação.

O trabalho desenvolvido teve como objetivo a avaliação da influência de veículos face à perturbação e à resistência ao escoamento de caudais de cheia em zonas urbanas, principalmente na relação entre a presença de veículos e a sobrelevação da altura de água. Para isso, adotou-se um canal de experimentação em modelo reduzido, à escala 1:12, onde se estabeleceram várias configurações possíveis de localização dos veículos, combinando-se com situações variadas de caudal e de inclinação do fundo, configurando um conjunto de cenários que foram analisados. Para cada ensaio experimental procedeu-se à medição da altura de água no canal, bem como do caudal e da inclinação do fundo.

Foram estudados vários cenários, englobando situações resultantes da combinação variada de caudal, inclinação do fundo, disposição e quantidade de veículos. Das inúmeras situações estudadas em modelo, tentou-se agrupar os resultados por forma a obter conclusões agregadas e tanto quanto possível generalizáveis para situações reais.

Como primeira conclusão de ordem geral, é possível verificar através da análise dos gráficos apresentados no capítulo 3.3.2, que a relação h/h_0 é sempre maior para os escoamentos em regime lento e menor para os de regime rápido. Verificou-se uma maior ocorrência de regimes lentos para as classes de obstrução mais elevadas, tendo nestes casos sido constatada uma maior sobrelevação da altura do escoamento.

De forma inversa, verificou-se uma maior ocorrência de regimes rápidos para classes de obstrução mais baixas, associadas neste caso a menores sobrelevações das alturas de escoamento.

Para cada cenário, as medições foram agrupadas em função do regime de escoamento, tendo sido preparados gráficos tanto para o regime rápido como para o regime lento. Quando os gráficos continham ambos os regimes de escoamento, o valor do coeficiente de correlação (r^2) afastava-se da unidade, porque os valores tendiam a agrupar-se por tipo de regime de escoamento.

Apartir da análise do regime de escoamento predominante em cada cenário, foi possível criar uma relação entre este e a classe de obstrução, apresentando-se os resultados no Quadro 4.1.

Classes de obstrução	Distribuição de cenários por regime de escoamento	
	Regime Lento	Regime Rápido
1	1	2
2	-	-
3	4	6
4	3	-
5	4	-

Quadro 4.1 – Relação entre classes de obstrução e tipo de regime de escoamento.

Analisando as classes de obstrução individualmente percebe-se que na classe de obstrução 1 (obstrução entre 0% e 20%) o regime de escoamento foi sobretudo o rápido, apesar de a amostra ser pouco representativa por haverem apenas 3 cenários com esta classe de obstrução.

Em relação à classe de obstrução 2 (obstrução de 21% a 40%), por não haver nenhum cenário com percentagem de obstrução correspondente, não foi possível identificar o escoamento predominante.

A classe de obstrução 3 (obstrução de 41% a 60%), por ter aproximadamente a mesma quantidade de cenários em ambos os regimes de escoamento, afigura-se como a classe de transição entre o predomínio do regime rápido para classes de obstrução menores e o regime lento para classes de obstrução maiores.

Nas classes 4 e 5, a que correspondem percentagens de obstrução de 61% a 80%, e de 81% a 100%, respetivamente, apenas se verificou o escoamento em regime lento.

No geral, quando se verifica a existência de apenas um regime de escoamento esse é lento, com exceção do cenário h0. No caso de h0 prevalece o regime rápido porque a percentagem de obstrução é zero. Constata-se ainda que o escoamento é feito apenas num regime quando a classe de obstrução é superior a 61%, portanto apenas para as classes de obstrução 4 e 5. Para percentagens de obstrução entre 1 e 60% ocorrem sempre ambos os regimes, embora haja, quase sempre, um regime dominante para cada cenário.

Posteriormente como segunda conclusão geral, verificou-se para análise dos valores de h/h_0 que em algumas das observações o valor era inferior a um. Esta situação, que ocorre em circunstâncias pontuais, resulta do facto de a sonda estar estática e só medir a altura de água num ponto do canal, e por a superfície livre do escoamento não ser uniforme devido às perturbações introduzidas pelos obstáculos. Posto isto, sempre que se verificaram observações onde $h/h_0 < 1$, os valores foram necessariamente despezados.

Os cenários h8, h9, h10 e h15 foram aqueles onde se verificaram mais observações com $h/h_0 < 1$, predominando em quatro destes cenários o regime rápido. Entre os valores excluídos apurou-se que havia em comum o caudal de $10\text{m}^3/\text{h}$ e a inclinação de $0,030\text{ m/m}$, representando cada um, no parâmetro em causa, cerca de metade (40,5%) do total de valores removidos (ANEXOS 21 e 21(a)).

Como terceira constatação, recorrendo ainda à observação do regime de escoamento predominante em cada cenário, procurou-se a existência de um padrão entre o tipo de escoamento e o aumento da dispersão dos valores nos gráficos. Para tal, excluíram-se os cenários onde o escoamento ocorreu apenas num dos regimes (cenários h11, h12, h14, h18 e h19) e analisou-se o comportamento dos restantes. Verificou-se que dos 14 cenários onde ocorrem ambos os regimes de escoamento, houve apenas três em que a dispersão das observações foi mais significativa em regime lento, concluindo-se que os valores têm maior propensão de afastamento à linha de tendência quando o escoamento é em regime rápido (ANEXO 22). Tal facto poder-se-á dever à maior sensibilidade das características do escoamento ao número de Froude.

A quarta conclusão alcançou-se após se perceber que a inclinação foi um outro parâmetro bastante influenciador do tipo de regime de escoamento. Assim, analisando-se todos os cenários em estudo verificou-se que para cada inclinação havia a predominância de um dos regimes de escoamento.

Para a inclinação de $0,005\text{ m/m}$ o escoamento ocorreu sempre em regime lento.

Na inclinação de 0,01 m/m predominou o regime lento, excetuando-se apenas o cenário h8 para o caudal de 10 m³/h.

Para a inclinação de 0,015 m/m o escoamento continuou a fazer-se geralmente em regime lento. Através da análise da quantidade de observações em cada regime para cada caudal, observou-se que dos caudais mais baixos para os mais altos aumenta a quantidade de regimes lentos, ou seja, para os caudais mais baixos (10 e 15 m³/h) há ambos os regimes de escoamento enquanto para caudais acima de 15 m³/h há apenas o regime lento.

A inclinação de 0,02 m/m tem o mesmo padrão de regimes de escoamento que a inclinação de 0,015 m/m, continuando a existir mais regimes lentos que rápidos. Nesta inclinação há no geral uma relação inversa entre o tipo de regime de escoamento e o caudal, ou seja, para regimes lentos a quantidade de leituras aumenta à medida que aumenta o caudal. Para regimes rápidos a quantidade de leituras diminui à medida que o caudal aumenta. Portanto, quanto maior o caudal registado para esta inclinação, maior o número de observações em regime lento e consequentemente menor a quantidade de observações em regime rápido.

Também para a inclinação de 0,025 m/m, à semelhança do que acontece para a inclinação anteriormente referida, registaram-se mais escoamentos lentos para caudais maiores e mais escoamentos rápidos para caudais menores. Contudo, para esta inclinação e considerando os sete caudais utilizados, ambos os regimes de escoamento ocorrem aproximadamente em igual quantidade, havendo aproximadamente o mesmo número de cada regime de escoamento.

Por fim, para a inclinação de 0,030 m/m o comportamento de escoamento é ligeiramente diferente. Para os caudais de 10, 35 e 40 m³/h existe, aproximadamente, a mesma quantidade quer de regimes lentos, quer de regimes rápidos. Nos restantes caudais o regime lento é mais expressivo em caudais mais elevados e o regime rápido ocorre mais vezes para caudais menores.

Conclui-se no geral, comparando as observações das seis inclinações analisadas, que para inclinações mais baixas entre 0,005 m/m e 0,015 m/m é mais frequente o escoamento ocorrer em regime lento. Para inclinações entre 0,015 m/m e 0,030 m/m a quantidade de regimes lentos aumenta com o aumento do caudal escoado. E por sua vez, a diminuição de caudal provoca uma maior ocorrência de regimes rápidos.

Nos casos onde a inclinação do canal é inferior a 0,02 m/m, o caudal escoado é menos expressivo em relação ao tipo de regime. As situações onde há maior possibilidade do escoamento ser feito em regime lento ocorrem para inclinações pequenas e caudais elevados, sendo a inclinação reduzida o fator mais importante.

Para o caudal escoado foi feita uma análise semelhante à anteriormente realizada através da fixação da inclinação e variação dos caudais, constatando-se que com exceção das observações correspondentes ao caudal de 10 m³/h e $i=0,030$ m/m, todos os outros valores têm um comportamento semelhante.

De seguida, através da fixação do caudal e variação das inclinações detetou-se a formação de um padrão para cada regime de escoamento. Com a variação da inclinação houve uma diminuição da quantidade das leituras para o regime lento e um aumento para o regime rápido. Verificou-se

portanto uma relação inversa entre os regimes, cada vez que se mudava a inclinação e se mantinha o caudal escoado (Quadro 4.2).

	Inclinação variável	Inclinação fixa
	Caudal fixo	Caudal variável
Nº de cenários com regime lentos	Diminuem	Aumentam
Nº de cenários com regime rápido	Aumentam	Diminuem

Quadro 4.2 – Comportamento dos regimes de escoamento em função da variação do caudal e da inclinação.

Uma outra conclusão foi alcançada com base nas medições realizadas em modelo, as quais permitiram determinar as alturas de água para cada cenário em estudo, em função do caudal escoado, da inclinação do fundo e da classe de obstrução. Através da subtração das medições do cenário h0 às medições dos restantes cenários foram obtidas as sobrelevações mínimas e máximas da altura de água e as respetivas percentagens de sobrelevação para cada cenário, apresentando-se os valores no Quadro 4.3.

	h min água	h max água	Sobrelevação				Classe de obstrução
			h min	h max	% min	% max	
h0(esc real) cm	8,23	28,35	0	0	0	0	1
h1(esc real)cm	9,75	43,28	1,52	14,94	12,20	62,34	3
h2(esc real)cm	9,75	46,63	0,91	18,29	6,38	72,00	3
h3(esc real) cm	10,36	40,54	0,91	14,94	6,38	63,64	3
h4(esc real)cm	9,75	47,55	1,52	19,20	16,95	67,74	3
h5(esc real)cm	9,75	52,43	0,61	24,08	3,39	84,95	5
h6(esc real)cm	9,14	48,46	0,30	20,12	2,56	70,97	3
h7(esc real)cm	9,45	45,42	0,61	18,90	5,41	71,26	3
h8(esc real)cm	13,72	47,85	0,91	19,51	6,67	70,11	3
h9(esc real) cm	10,36	41,45	0,61	15,54	6,25	60,00	1
h10(esc real)cm	11,89	40,23	2,44	14,33	17,39	55,29	1
h11(esc real)cm	11,28	71,93	2,13	43,59	21,88	153,76	4
h12(esc real)cm	17,98	81,99	8,53	53,64	87,50	198,73	5
h13(esc real)cm	11,58	60,96	0,61	32,61	4,88	115,05	3
h14(esc real)cm	15,24	64,31	4,27	35,97	37,84	126,88	5
h15(esc real)cm	10,67	60,96	0,30	32,61	2,70	115,05	3
h16(esc real)cm	10,06	46,02	0,30	20,12	3,12	77,65	3
h17(esc real)cm	9,45	66,45	0,61	38,10	6,90	134,41	4
h18(esc real)cm	16,46	63,09	6,40	35,97	54,76	138,82	4
h19(esc real)cm	24,38	85,34	14,33	57,00	142,42	228,77	5

Quadro 4.3 – Alturas de água, sobrelevações e percentagens de sobrelevação mínima e máxima, para cada cenário, em protótipo.

Os valores encontrados podem constituir uma indicação das sobrelevações reais que poderão acontecer em arruamentos de zonas urbanas, em situações de escoamento à superfície de

caudais pluviais associados a cheias de baixa probabilidade de ocorrência, inferior à que habitualmente se usa no dimensionamento de redes de colectores.

Se já por si uma situação de escoamento de caudais de cheia à superfície dos arruamentos poderá constituir um sério problema que afecta tanto as populações como os equipamentos ou as edificações, o agravamento das respetivas alturas de água poderá seguramente agravar o risco de tais situações, como por exemplo a inundação de caves de edifícios ou as redes de transporte subterrâneo como o metropolitano.

Os resultados obtidos mostram que, face à escala do modelo de 1:12, as sobreelevações em arruamentos podem ter uma expressão muito significativa, tanto em valor absoluto, como em termos percentuais.

Dos vários cenários analisados, constata-se que as sobreelevações totais poderão variar entre valores da ordem de 0,3 e 57 cm, a que correspondem valores percentuais de 2,56 e 228,77, respetivamente. O aumento mínimo da lâmina líquida ocorre no cenário h6 e o aumento máximo no cenário h19.

Dos vinte cenários, em relação às alturas mínimas de água, sete medições correspondem a um $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ e $i = 0,030 \text{ m/m}$; cinco medições a $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ e $i = 0,025 \text{ m/m}$; quatro medições a $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ e $i = 0,02 \text{ m/m}$; e por último duas medições correspondem a $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$ e $i=0,01 \text{ m/m}$.

Em relação às alturas mínimas de água, a menor medição é de 9,14 cm e a maior de 24,38 cm, correspondendo aos cenários h6 e h19.

Dos vinte cenários, em relação às alturas máximas, dezasseis medições têm em comum $Q=40\text{m}^3/\text{h}$ e $i=0,015 \text{ m/m}$; três medições correspondem a $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ e $i = 0,02 \text{ m/m}$; e por fim uma medição com $Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$ e $i = 0,015 \text{ m/m}$.

Em relação às alturas máximas de água, a menor medição é de 40,23 cm e a maior é de 85,34 cm, correspondentes aos cenários h10 e h19.

As variações entre as alturas mínimas e máximas para cada cenário são consequência das combinações de diferentes caudais, inclinações e percentagens de obstrução.

Nos ensaios laboratoriais procurou-se representar o melhor possível as condições de escoamento de caudais de cheia em zonas urbanas. Contudo, houve algumas condicionantes que não permitiram uma melhor aproximação à realidade. Assim, de seguida são apresentadas algumas recomendações para experiências futuras.

O tapete usado no fundo do canal, e que pretende representar a rugosidade de um pavimento betuminoso é a primeira condicionante. Logo, aconselha-se que em possíveis experiências futuras os ensaios sejam realizados de forma a cobrir uma maior quantidade de rugosidades e concomitantemente vários tipos de pavimentos.

É igualmente recomendado o uso de mais que uma sonda, por forma a obter mais medições para cada cenário, e assim poder traçar-se a curva de regolfo do escoamento, bem como poder obter valores mais aproximados.

A terceira condicionante ao estudo foi a utilização de apenas um veículo padrão. O uso de veículos diferentes poderá permitir perceber qual a diferente percentagem de obstrução que cada um

dos veículos causa para as mesmas condições de escoamento, e desta forma perceber quais os tipos de veículos que provocam maior sobrelevação da lâmina líquida.

Uma outra recomendação proposta é o aumento da gama dos valores de caudais e inclinações utilizados, de forma a aumentar a informação sobre as sobrelevações para cada cenário.

A nível prático nas zonas urbanas recomenda-se a incorporação de medidas de controlo e prevenção a nível do planeamento urbano. Devem usar-se proteções junto às entradas de zonas suscetíveis de inundações, como parques de estacionamento subterrâneo, entradas de metropolitano, caves, etc. É aconselhável também a reformulação do tipo de tráfego nas zonas de maior risco, visto ter-se concluído que a presença de obstáculos (veículos) agrava as alturas de água nos arruamentos. E, mais importante que o controlo durante as cheias, é a prevenção das condições que possam agravar as inundações, como manter os sistemas de recolha de águas pluvias desobstruídos e operacionais.

Referências Bibliográficas

- [1] Sítio do MIKE by DHI. Consultado em Julho de 2014: <http://www.mikebydhi.com>.
- [2] MIGUEZ, M. G., MAGALHÃES, L. P.C., (2010), *Urban Flood Control, Simulation and Management - an Integrated Approach, Methods and Techniques in Urban Engineering*, Ed. Armando Carlos de Pina Filho and Aloisio Carlos de Pina, InTech, Croatia, pp 131-160.
- [3] CUNHA, L., LEAL, C., *et al*, (2012), *Risco de Inundação no Município de Torres Novas (Portugal)*, Ed. Especial, REVISTA GEONORTE, Portugal, pp 131-160.
- [4] LENCASTRE, A., (2003), *Hidráulica Urbana e Industrial. Volume II*. LNEC, Lisboa, 598 p.
- [5] OLIVEIRA, P., RAMOS, C., (2002), *Inundações na Cidade de Lisboa Durante o Século XX e os Seus Factores Agravantes*, Finisterra: Revista Portuguesa de Geografia, vol. 37, pp 33-54.
- [6] RAMOS, C., (2014), *Perigos Naturais Devidos a Causas Meteorológicas: O Caso das Cheias e Inundações*, Edições Universitárias Lusófonas, pp 11-16.
- [7] LIMA, I., (2012), *Inundações Urbanas: Desafios ao Ordenamento do Território. O Caso da Cidade da Praia (Cabo Verde)*, Tese de Mestrado, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, pp 118.
- [8] PEREIRA, M., VENTURA, J., (2004), *As Áreas Inundáveis em Meio Urbano. A abordagem dos instrumentos de planeamento territorial - 7º Congresso da Água*, Lisboa, 13 p.
- [9] QUINTELA, A., (1985), *Hidráulica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, pp 519.
- [10] RIJO, M., (2010), *Canais de Adução - Projecto, Operação, Controlo e Modernização*, Edições Sílabo, 1ª Ed, Lisboa, 531 p.
- [11] BAPTISTA, M. B., COELHO, M. M. L. P., CIRILO, J. A., *et al*, (2001), *Hidráulica Aplicada*, Porto Alegre: ABRH, 619 p.
- [12] CHANSON, H., (2004)a., *The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction*, 2nd edition, Oxford: Butterworth-Heinemann, 630 p.
- [13] MANZANARES, A., QUINTELA, A., (1980), *Hidráulica Geral II, Escoamentos Líquidos*, Ed. AEIST, Lisboa, 373 p.
- [14] CHOW, V. T., (1959), *Open Channels Hydraulics*, McGraw-Hill, Book Company, New York, 669 p.
- [15] LENCASTRE, A., (1983), *Hidráulica Geral*. Hidroprojecto, Lisboa, 651 p.
- [16] HENDERSON, F., (1966), *Open Channel Flow*. MacMillan, New York, 515 p.
- [17] GÓMEZ, M., MACCHIONE, F., RUSSO, B. (2011), *Methodologies to study the surface hydraulic behaviour of urban catchments during storm events*. Water Sci Technol, 63: pp 2666-2673.
- [18] SÁ-MARQUES, A., SOUSA, J., (2009), - *Hidráulica Urbana - Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*, Ed. Universidade de Coimbra (2ª Edição), Coimbra, 426 p.
- [19] MELLER, A., PAIVA, E., (2007), *Simulação Hidrodinâmica 1D de Inundações em sistemas de Drenagem Urbana*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.12, pp 81-92.
- [20] LENCASTRE, A., *et al*, (2010), *Lições de Hidrologia*, FCTUNL, Caparica, 541 p.
- [21] FONSECA, J., (2012), *Desempenho de Sedimentadores Primários em ETAR*, Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 63 p.

[22] BRADLEY, J., (1978), *Hydraulics of Bridge Waterways*, 2nd Ed, Us Dept of Transportation, FHWA, Washington.

BRUNETTI, F., (2008), *Mecânica dos Fluidos*, Pearson Prentice Hall, 2^a ed. rev., São Paulo, 425 p.

CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA / EMARLIS (2006), Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Fase B: Diagnóstico de Desempenho do Sistema, Consórcio Chiron/Engidro/Hydra, Lisboa, 138 p.

CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA / EMARLIS (2007), Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Fase C: Desenvolvimento do Plano Geral de Drenagem, Consórcio Chiron/Engidro/Hydra, Lisboa, 270 p.

CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA / EMARLIS (2008), Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Fase E: Sistema de Apoio à Decisão, Consórcio Chiron/Engidro/Hydra, Lisboa, 59 p.

CHAUDHRY, M. H., (1993), *Open-Channel Flow*, Prentice-Hall, 2nd edition, New York.

FENTON, J., (2005), *Open Channel Hydraulics* – Engineering Hydraulics and Hydrology, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Melbourne, Australia, 59 p.

FRENCH, R. H., (1985), *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co, New York.

TUCCI, C. E. M., (2008), *Águas Urbanas*, Estudos Avançados, vol. 22, pp 97-112.

WHITE, F. M., (2002), *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill, 6th edition, New York, 865 p.

ANEXOS

ANEXO 1 – Cálculos referentes ao cenário h0

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h0 (esc real) cm	23,470	12,802	15,240	10,058	13,716	17,983	20,726	23,470	26,518	28,346	9,754	12,497	15,850	18,593	21,641	24,689	25,908
velocidade (m/s)	0,203	0,372	0,469	0,473	0,521	0,530	0,574	0,609	0,629	0,672	0,488	0,572	0,601	0,640	0,660	0,675	0,735
N Froude	0,463	1,150	1,329	1,652	1,556	1,382	1,396	1,390	1,351	1,397	1,730	1,789	1,670	1,643	1,570	1,503	1,598
Tipo de Regime	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,014	0,007	0,009	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,015	0,017	0,006	0,007	0,009	0,011	0,013	0,014	0,015
R (m)	0,019	0,010	0,012	0,008	0,011	0,014	0,016	0,019	0,021	0,022	0,008	0,010	0,013	0,015	0,017	0,019	0,020
KAR^(2/3)	0,063	0,023	0,031	0,016	0,026	0,041	0,052	0,063	0,077	0,086	0,015	0,022	0,033	0,043	0,055	0,069	0,074
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% Obstrução	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Classe Obstrução	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h0 (esc real) cm	8,839	11,887	15,545	18,288	21,031	23,470	25,298	8,230	11,278	14,326	17,983	20,422	22,250	24,079
velocidade (m/s)	0,539	0,601	0,613	0,651	0,679	0,710	0,753	0,579	0,633	0,665	0,662	0,700	0,749	0,791
N Froude	2,005	1,929	1,720	1,684	1,639	1,622	1,656	2,232	2,087	1,944	1,727	1,713	1,757	1,784
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,005	0,007	0,009	0,011	0,012	0,014	0,015	0,005	0,007	0,008	0,010	0,012	0,013	0,014
R (m)	0,007	0,010	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020	0,007	0,009	0,012	0,014	0,016	0,018	0,019
KAR^(2/3)	0,013	0,021	0,032	0,042	0,053	0,063	0,071	0,011	0,019	0,028	0,041	0,050	0,058	0,066
Q/vi	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% Obstrução	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Classe Obstrução	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1

ANEXO 2 – Cálculos referentes ao cenário h1

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h1 (m)	0,026	0,015	0,023	0,010	0,014	0,021	0,025	0,032	0,033	0,036	0,010	0,012	0,017	0,023	0,026	0,025	0,028
h1 (esc real) cm	31,394	17,983		12,192	16,459	25,603	29,566	38,100	39,319	43,282	11,582	14,021	19,812	27,432	30,785	29,566	34,138
Velocidade (m/s)	0,152	0,265	0,258	0,391	0,434	0,372	0,403	0,375	0,424	0,440	0,411	0,509	0,481	0,434	0,464	0,564	0,558
N Froude	0,300	0,691	0,541	1,238	1,184	0,813	0,819	0,672	0,748	0,740	1,337	1,506	1,195	0,917	0,925	1,147	1,057
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,018	0,010	0,016	0,007	0,010	0,015	0,017	0,022	0,023	0,025	0,007	0,008	0,012	0,016	0,018	0,017	0,020
R (m)	0,024	0,014	0,022	0,010	0,013	0,020	0,023	0,029	0,030	0,033	0,009	0,011	0,016	0,021	0,024	0,023	0,026
KAR^(2/3)	0,101	0,041		0,022	0,035	0,073	0,092	0,139	0,146	0,170	0,020	0,027	0,048	0,082	0,098	0,092	0,116
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0	1,338	1,405		1,212	1,200	1,424	1,426	1,623	1,483	1,527	1,188	1,122	1,250	1,475	1,423	1,198	1,318
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h1 (m)	0,009	0,012	0,017	0,021	0,025	0,027	0,029	0,008	0,011	0,014	0,019	0,023	0,024	0,027
h1 (esc real) cm	11,278	14,935	20,726	24,994	30,175	32,918	34,747	9,754	12,802	17,069	23,165	27,737	28,956	32,004
velocidade (m/s)	0,422	0,478	0,460	0,476	0,473	0,506	0,548	0,488	0,558	0,558	0,514	0,515	0,576	0,595
N Froude	1,391	1,369	1,117	1,054	0,954	0,976	1,029	1,730	1,726	1,494	1,182	1,082	1,184	1,164
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,007	0,009	0,012	0,015	0,018	0,019	0,020	0,006	0,007	0,010	0,014	0,016	0,017	0,019
R (m)	0,009	0,012	0,016	0,020	0,023	0,025	0,027	0,008	0,010	0,014	0,018	0,022	0,023	0,025
KAR^(2/3)	0,019	0,030	0,052	0,070	0,095	0,110	0,120	0,015	0,023	0,038	0,062	0,083	0,089	0,105
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,276	1,256	1,333	1,367	1,435	1,403	1,373	1,185	1,135	1,191	1,288	1,358	1,301	1,329
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 3 – Cálculos referentes ao cenário h2

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h2 (m)	0,025	0,015	0,022	0,009	0,013	0,021	0,026	0,033	0,035	0,039	0,011	0,013	0,020	0,025	0,026	0,028	0,028
h2 (esc real) cm	30,175	18,288	26,213			25,603	31,090	39,014	42,062	46,634	13,106	16,154	24,384	30,175	31,090	33,223	33,833
velocidade (m/s)	0,158	0,260	0,272	0,434	0,469	0,372	0,383	0,366	0,396	0,408	0,363	0,442	0,391	0,395	0,460	0,502	0,563
N Froude	0,318	0,674	0,589	1,450	1,329	0,813	0,760	0,649	0,676	0,662	1,111	1,217	0,875	0,795	0,912	0,963	1,071
To de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido
A (m²)	0,018	0,011	0,015	0,006	0,009	0,015	0,018	0,023	0,025	0,027	0,008	0,009	0,014	0,018	0,018	0,019	0,020
R (m)	0,023	0,015	0,021	0,009	0,012	0,020	0,024	0,030	0,032	0,035	0,011	0,013	0,019	0,023	0,024	0,026	0,026
KAR^(2/3)	0,095	0,042	0,076			0,073	0,100	0,144	0,163	0,192	0,024	0,034	0,067	0,095	0,100	0,111	0,115
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0	1,286	1,429	1,720			1,424	1,500	1,662	1,586	1,645	1,344	1,293	1,538	1,623	1,437	1,346	1,306
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h2 (m)	0,010	0,013	0,017	0,021	0,024	0,028	0,028	0,008	0,012	0,013	0,019	0,023	0,023	0,027
h2 (esc real) cm	11,582	15,850	19,812	24,994	28,346	33,528	34,138	9,754	14,935	15,240	22,555	28,042	28,042	32,309
velocidade (m/s)	0,411	0,451	0,481	0,476	0,504	0,497	0,558	0,488	0,478	0,625	0,528	0,509	0,594	0,590
N Froude	1,337	1,253	1,195	1,054	1,047	0,950	1,057	1,730	1,369	1,771	1,230	1,065	1,242	1,148
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,020	0,020	0,006	0,009	0,009	0,013	0,016	0,016	0,019
R (m)	0,009	0,013	0,016	0,020	0,022	0,026	0,026	0,008	0,012	0,012	0,018	0,022	0,022	0,025
KAR^(2/3)	0,020	0,033	0,048	0,070	0,086	0,113	0,116	0,015	0,030	0,031	0,059	0,084	0,084	0,106
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,310	1,333	1,275	1,367	1,348	1,429	1,349	1,185	1,324	1,064	1,254	1,373	1,260	1,342
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 4 – Cálculos referentes ao cenário h3

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h3 (m)	0,024	0,014	0,019	0,009	0,014	0,020	0,024	0,032	0,030	0,034	0,010	0,013	0,020	0,024	0,025	0,027	0,028
h3 (esc real) cm	28,956	16,459	23,165	11,278	17,069	24,079	28,651	38,405	36,576	40,538	11,887	15,850	23,470	28,956	30,480	32,918	33,528
velocidade (m/s)	0,164	0,289	0,308	0,422	0,418	0,396	0,416	0,372	0,456	0,470	0,401	0,451	0,406	0,411	0,469	0,506	0,568
N Froude	0,338	0,789	0,709	1,391	1,121	0,892	0,859	0,664	0,834	0,817	1,286	1,253	0,927	0,845	0,939	0,976	1,086
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido
A (m²)	0,017	0,010	0,014	0,007	0,010	0,014	0,017	0,022	0,021	0,024	0,007	0,009	0,014	0,017	0,018	0,019	0,020
R (m)	0,023	0,013	0,018	0,009	0,014	0,019	0,022	0,029	0,028	0,031	0,010	0,013	0,019	0,023	0,024	0,025	0,026
KAR^(2/3)	0,089	0,035	0,062	0,019	0,038	0,066	0,087	0,141	0,130	0,153	0,021	0,033	0,063	0,089	0,097	0,110	0,113
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0	1,234	1,286	1,520	1,121	1,244	1,339	1,382	1,636	1,379	1,430	1,219	1,268	1,481	1,557	1,408	1,333	1,294
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h3 (m)	0,009	0,013	0,017	0,020	0,023	0,028	0,029	0,009	0,013	0,013	0,019	0,023	0,023	0,026
h3 (esc real) cm	10,668	15,850	19,812	24,384	28,042	33,528	34,442	10,363	15,240	15,240	22,555	27,737	27,737	31,394
velocidade (m/s)	0,446	0,451	0,481	0,488	0,509	0,497	0,553	0,460	0,469	0,625	0,528	0,515	0,601	0,607
N Froude	1,512	1,253	1,195	1,094	1,065	0,950	1,043	1,579	1,329	1,771	1,230	1,082	1,263	1,198
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,006	0,009	0,012	0,014	0,016	0,020	0,020	0,006	0,009	0,009	0,013	0,016	0,016	0,018
R (m)	0,009	0,013	0,016	0,019	0,022	0,026	0,027	0,008	0,012	0,012	0,018	0,022	0,022	0,024
KAR^(2/3)	0,017	0,033	0,048	0,067	0,084	0,113	0,118	0,017	0,031	0,031	0,059	0,083	0,083	0,101
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,207	1,333	1,275	1,333	1,333	1,429	1,361	1,259	1,351	1,064	1,254	1,358	1,247	1,304
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 5 – Cálculos referentes ao cenário h4

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h4 (m)	0,027	0,015	0,022	0,008	0,014	0,021	0,024	0,028	0,031	0,040	0,011	0,013	0,020	0,024	0,025	0,028	0,029
h4 (esc real) cm	32,309	17,983		10,058	17,374	25,603	28,956	33,833	37,795	47,549	13,106	15,240	24,079	29,261	29,870	34,138	34,442
velocidade (m/s)	0,147	0,265	0,276	0,473	0,411	0,372	0,411	0,422	0,441	0,401	0,363	0,469	0,396	0,407	0,478	0,488	0,553
N Froude	0,287	0,691	0,599	1,652	1,091	0,813	0,845	0,803	0,794	0,643	1,111	1,329	0,892	0,832	0,968	0,925	1,043
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R.Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido
A (m²)	0,019	0,010	0,015	0,006	0,010	0,015	0,017	0,020	0,022	0,028	0,008	0,009	0,014	0,017	0,017	0,020	0,020
R (m)	0,025	0,014	0,020	0,008	0,014	0,020	0,023	0,026	0,029	0,036	0,011	0,012	0,019	0,023	0,023	0,026	0,027
KAR^(2/3)	0,106	0,041		0,016	0,039	0,073	0,089	0,115	0,137	0,198	0,024	0,031	0,066	0,091	0,094	0,116	0,118
Q/\sqrt{i}	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0	1,377	1,405		1,000	1,267	1,424	1,397	1,442	1,425	1,677	1,344	1,220	1,519	1,574	1,380	1,383	1,329
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h4 (m)	0,010	0,012	0,015	0,022	0,024	0,024	0,029	0,008	0,012	0,012	0,018	0,023	0,022	0,025
h4(esc real)cm	11,582	14,021	18,593	25,908	28,651	28,956	35,357	9,754	14,630	14,326	21,031	27,737	26,213	30,480
velocidade (m/s)	0,411	0,509	0,512	0,460	0,499	0,576	0,539	0,488	0,488	0,665	0,566	0,515	0,636	0,625
N Froude	1,337	1,506	1,315	0,999	1,031	1,184	1,003	1,730	1,412	1,944	1,366	1,082	1,374	1,253
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,007	0,008	0,011	0,015	0,017	0,017	0,021	0,006	0,009	0,008	0,012	0,016	0,015	0,018
R (m)	0,009	0,011	0,015	0,020	0,022	0,023	0,027	0,008	0,012	0,012	0,017	0,022	0,021	0,024
KAR^(2/3)	0,020	0,027	0,043	0,074	0,087	0,089	0,123	0,015	0,029	0,028	0,053	0,083	0,076	0,097
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,310	1,179	1,196	1,417	1,362	1,234	1,398	1,185	1,297	1,000	1,169	1,358	1,178	1,266
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 6 – Cálculos referentes ao cenário h5

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h5 (m)	0,023	0,015	0,021	0,010	0,016	0,022	0,028	0,035	0,038	0,044	0,010	0,014	0,018	0,027	0,030	0,033	0,034
h5 (esc real) cm	27,432	18,288	25,603	12,497	18,898	26,518	33,528	42,062	45,720	52,426	11,582	17,069	21,946	32,918	36,271	39,319	40,234
velocidade (m/s)	0,174	0,260	0,279	0,381	0,378	0,359	0,355	0,340	0,365	0,363	0,411	0,418	0,434	0,362	0,394	0,424	0,473
N Froude	0,367	0,674	0,610	1,193	0,962	0,772	0,679	0,579	0,597	0,555	1,337	1,121	1,025	0,697	0,724	0,748	0,826
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,016	0,011	0,015	0,007	0,011	0,015	0,020	0,025	0,027	0,031	0,007	0,010	0,013	0,019	0,021	0,023	0,023
R (m)	0,021	0,015	0,020	0,010	0,015	0,021	0,026	0,032	0,034	0,039	0,009	0,014	0,017	0,025	0,028	0,030	0,031
KAR^(2/3)	0,082	0,042	0,073	0,022	0,044	0,077	0,113	0,163	0,186	0,231	0,020	0,038	0,057	0,110	0,128	0,146	0,151
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0	1,169	1,429	1,680	1,242	1,378	1,475	1,618	1,792	1,724	1,849	1,188	1,366	1,385	1,770	1,676	1,593	1,553
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675
% Obstrução	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h5 (m)	0,007	0,012	0,014	0,015	0,027	0,024	0,032	0,008	0,011	0,016	0,015	0,022	0,020	0,035
h5 (esc real) cm		14,630	17,069	18,288	32,309	28,346	38,100	9,754	13,106	18,898	18,593	26,213	24,079	41,453
velocidade (m/s)	0,601	0,488	0,558	0,651	0,442	0,588	0,500	0,488	0,545	0,504	0,640	0,545	0,692	0,460
N Froude	2,362	1,412	1,494	1,684	0,861	1,222	0,896	1,730	1,666	1,283	1,643	1,178	1,561	0,790
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento
A (m²)	0,005	0,009	0,010	0,011	0,019	0,017	0,022	0,006	0,008	0,011	0,011	0,015	0,014	0,024
R (m)	0,006	0,012	0,014	0,015	0,025	0,022	0,029	0,008	0,011	0,015	0,015	0,021	0,019	0,031
KAR^(2/3)		0,029	0,038	0,042	0,106	0,086	0,139	0,015	0,024	0,044	0,043	0,076	0,066	0,159
Q/vi	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0		1,231	1,098	1,000	1,536	1,208	1,506	1,185	1,162	1,319	1,034	1,284	1,082	1,722
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675
% Obstrução	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

ANEXO 7 – Cálculos referentes ao cenário h6

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h6 (m)	0,022	0,046	0,026	0,014	0,023	0,023	0,029	0,032	0,036	0,040	0,012	0,014	0,020	0,024	0,029	0,033	0,035
h6 (esc real) cm						27,432	34,442	38,710	43,282	48,463	14,326	17,374	23,470	28,651	34,442	39,014	42,367
velocidade (m/s)	0,178	0,087	0,232	0,289	0,260	0,347	0,346	0,369	0,385	0,393	0,332	0,411	0,406	0,416	0,415	0,427	0,450
N Froude	0,379	0,130	0,463	0,789	0,550	0,734	0,652	0,656	0,648	0,625	0,972	1,091	0,927	0,859	0,782	0,757	0,764
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,016	0,032	0,018	0,010	0,016	0,016	0,020	0,023	0,025	0,028	0,008	0,010	0,014	0,017	0,020	0,023	0,025
R (m)	0,021	0,040	0,024	0,013	0,021	0,021	0,027	0,030	0,033	0,036	0,012	0,014	0,019	0,022	0,027	0,030	0,032
KAR^(2/3)						0,082	0,118	0,142	0,170	0,204	0,028	0,039	0,063	0,087	0,118	0,144	0,165
Q/√i	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0						1,525	1,662	1,649	1,632	1,710	1,469	1,390	1,481	1,541	1,592	1,580	1,635
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h6 (m)	0,008	0,010	0,018	0,021	0,027	0,031	0,034	0,007	0,009	0,012	0,021	0,025	0,029	0,033
h6 (esc real) cm	9,144	12,192	21,946	25,603	32,309	37,795	41,148		11,278	14,326	24,994	29,566	34,747	39,624
velocidade (m/s)	0,521	0,586	0,434	0,465	0,442	0,441	0,463	0,601	0,633	0,665	0,476	0,483	0,480	0,481
N Froude	1,906	1,857	1,025	1,017	0,861	0,794	0,799	2,362	2,087	1,944	1,054	0,983	0,900	0,845
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,005	0,007	0,013	0,015	0,019	0,022	0,024	0,005	0,007	0,008	0,015	0,017	0,020	0,023
R (m)	0,007	0,010	0,017	0,020	0,025	0,029	0,031	0,006	0,009	0,012	0,020	0,023	0,027	0,030
KAR^(2/3)	0,013	0,022	0,057	0,073	0,106	0,137	0,157		0,019	0,028	0,070	0,092	0,120	0,148
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,034	1,026	1,412	1,400	1,536	1,610	1,627		1,000	1,000	1,390	1,448	1,562	1,646
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 8 – Cálculos referentes ao cenário h7

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h7 (m)	0,018	0,014	0,019	0,013	0,016	0,023	0,027	0,031	0,038	0,054	0,012	0,012	0,020	0,023	0,028	0,032	0,048
h7 (esc real) cm		16,459	22,555	15,240	19,507	27,432	32,004	37,186	45,415		14,935	14,326	24,384	27,127	33,528	38,710	
velocidade (m/s)	0,220	0,289	0,317	0,312	0,366	0,347	0,372	0,384	0,367	0,296	0,319	0,499	0,391	0,439	0,426	0,431	0,329
N Froude	0,523	0,789	0,738	0,886	0,917	0,734	0,728	0,697	0,603	0,409	0,913	1,458	0,875	0,932	0,814	0,766	0,478
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,013	0,010	0,013	0,009	0,011	0,016	0,019	0,022	0,026	0,038	0,009	0,008	0,014	0,016	0,020	0,023	0,034
R (m)	0,017	0,013	0,018	0,012	0,016	0,021	0,025	0,028	0,034	0,046	0,012	0,012	0,019	0,021	0,026	0,030	0,042
KAR^(2/3)		0,035	0,059	0,031	0,047	0,082	0,105	0,133	0,184		0,030	0,028	0,067	0,080	0,113	0,142	
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,286	1,480	1,515	1,422	1,525	1,544	1,584	1,713		1,531	1,146	1,538	1,459	1,549	1,568	
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h7 (m)	0,010	0,013	0,020	0,021	0,027	0,030	0,035	0,008	0,010	0,014	0,020	0,024	0,027	0,031
h7(esc real)cm		15,240	23,470	25,298	32,004	36,271	41,453	9,449	11,887	16,764	23,774	28,651	32,918	37,795
velocidade (m/s)	0,381	0,469	0,406	0,471	0,446	0,460	0,460	0,504	0,601	0,568	0,501	0,499	0,506	0,504
N Froude	1,193	1,329	0,927	1,035	0,873	0,844	0,790	1,814	1,929	1,535	1,136	1,031	0,976	0,907
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,007	0,009	0,014	0,015	0,019	0,021	0,024	0,006	0,007	0,010	0,014	0,017	0,019	0,022
R (m)	0,010	0,012	0,019	0,020	0,025	0,028	0,031	0,008	0,010	0,013	0,019	0,022	0,025	0,029
KAR^(2/3)		0,031	0,063	0,071	0,105	0,128	0,159	0,014	0,021	0,036	0,065	0,087	0,110	0,137
Q/vi	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0		1,282	1,510	1,383	1,522	1,545	1,639	1,148	1,054	1,170	1,322	1,403	1,479	1,570
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 9 – Cálculos referentes ao cenário h8

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h8 (m)	0,016	0,011	0,016	0,007	0,012	0,021	0,026	0,031	0,038	0,040	0,007	0,010	0,014	0,027	0,026	0,031	0,034
h8 (esc real) cm		13,716	19,507		14,630	25,603	31,699	37,795	45,110	47,854			17,069		30,785	37,795	40,843
velocidade (m/s)	0,252	0,347	0,366	0,539	0,488	0,372	0,376	0,378	0,369	0,398	0,579	0,617	0,558	0,365	0,464	0,441	0,466
N Froude	0,641	1,037	0,917	2,005	1,412	0,813	0,738	0,680	0,609	0,637	2,232	2,005	1,494	0,707	0,925	0,794	0,807
Tipo de Regime	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,011	0,008	0,011	0,005	0,009	0,015	0,018	0,022	0,026	0,028	0,005	0,007	0,010	0,019	0,018	0,022	0,024
R (m)	0,015	0,011	0,016	0,007	0,012	0,020	0,025	0,029	0,034	0,036	0,007	0,009	0,014	0,025	0,024	0,029	0,031
KAR^(2/3)		0,026	0,047		0,029	0,073	0,103	0,137	0,182	0,200			0,038		0,098	0,137	0,155
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,071	1,280		1,067	1,424	1,529	1,610	1,701	1,688			1,077		1,423	1,531	1,576
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h8 (m)	0,005	0,006	0,011	0,014	0,021	0,026	0,029	0,005	0,006	0,012	0,014	0,020	0,026	0,030
h8(esc real)cm					24,689	31,090	34,747					23,774	31,090	35,966
velocidade (m/s)	0,822	1,065	0,694	0,710	0,579	0,536	0,548	0,822	0,937	0,679	0,685	0,601	0,536	0,530
N Froude	3,781	4,552	2,075	1,919	1,289	1,064	1,029	3,781	3,758	2,007	1,819	1,364	1,064	0,977
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento
A (m²)	0,003	0,004	0,008	0,010	0,014	0,018	0,020	0,003	0,004	0,008	0,010	0,014	0,018	0,021
R (m)	0,005	0,006	0,011	0,013	0,019	0,024	0,027	0,005	0,006	0,011	0,014	0,019	0,024	0,028
KAR^(2/3)					0,069	0,100	0,120					0,065	0,100	0,126
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0					1,174	1,325	1,373					1,164	1,397	1,494
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 10 – Cálculos referentes ao cenário h9

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h9 (m)	0,019	0,014	0,018	0,010	0,015	0,019	0,023	0,027	0,030	0,052	0,009	0,010	0,018	0,021	0,026	0,028	0,035
h9 (esc real) cm		17,069	21,031	11,582	18,288	22,860	28,042	32,309	36,576		10,363		21,031	25,603	31,090	33,528	41,453
velocidade (m/s)	0,211	0,279	0,340	0,411	0,391	0,417	0,425	0,442	0,456	0,305	0,460	0,617	0,453	0,465	0,460	0,497	0,460
N Froude	0,492	0,747	0,820	1,337	1,011	0,964	0,887	0,861	0,834	0,427	1,579	2,005	1,093	1,017	0,912	0,950	0,790
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,013	0,010	0,012	0,007	0,011	0,013	0,016	0,019	0,021	0,036	0,006	0,007	0,012	0,015	0,018	0,020	0,024
R (m)	0,018	0,014	0,017	0,009	0,015	0,018	0,022	0,025	0,028	0,045	0,008	0,009	0,017	0,020	0,024	0,026	0,031
KAR^(2/3)		0,038	0,053	0,020	0,042	0,061	0,084	0,106	0,130		0,017		0,053	0,073	0,100	0,113	0,159
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,333	1,380	1,152	1,333	1,271	1,353	1,377	1,379		1,063		1,327	1,377	1,437	1,358	1,600
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
% Obstrução	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595
Classe Obstrução	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h9 (m)	0,010	0,009	0,015	0,019	0,017	0,025	0,026	0,026	0,008	0,012	0,013	0,015	0,022	0,026
h9 (esc real) cm	11,582		18,593	22,250		30,175	31,394			14,326			26,822	31,394
velocidade (m/s)	0,411	0,651	0,512	0,535	0,700	0,552	0,607	0,152	0,732	0,665	0,781	0,768	0,621	0,607
N Froude	1,337	2,175	1,315	1,255	1,713	1,113	1,198	0,300	2,595	1,944	2,214	1,972	1,328	1,198
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,007	0,006	0,011	0,013	0,012	0,018	0,018	0,018	0,006	0,008	0,009	0,011	0,016	0,018
R (m)	0,009	0,009	0,015	0,018	0,016	0,023	0,024	0,024	0,008	0,012	0,012	0,015	0,021	0,024
KAR^(2/3)	0,020		0,043	0,058		0,095	0,101			0,028			0,079	0,101
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,310		1,196	1,217		1,286	1,241			1,000			1,205	1,304
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
% Obstrução	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595
Classe Obstrução	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1

ANEXO 11 – Cálculos referentes ao cenário h10

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h10 (m)	0,019	0,015	0,017	0,010	0,017	0,022	0,025	0,028	0,033	0,054	0,007	0,008	0,020	0,022	0,027	0,029	0,034
h10 (esc real) cm		17,678	20,726	12,497	19,812	26,213	29,870	33,528	39,624				23,470	26,822	32,309	34,442	40,234
velocidade (m/s)	0,214	0,269	0,345	0,381	0,361	0,363	0,399	0,426	0,421	0,292	0,558	0,732	0,406	0,444	0,442	0,484	0,473
N Froude	0,502	0,709	0,838	1,193	0,896	0,785	0,807	0,814	0,739	0,400	2,113	2,595	0,927	0,948	0,861	0,912	0,826
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,013	0,010	0,012	0,007	0,012	0,015	0,017	0,020	0,023	0,038	0,005	0,006	0,014	0,016	0,019	0,020	0,023
R (m)	0,018	0,014	0,016	0,010	0,016	0,021	0,023	0,026	0,030	0,047	0,007	0,008	0,019	0,021	0,025	0,027	0,031
KAR^(2/3)		0,040	0,052	0,022	0,048	0,076	0,094	0,113	0,148				0,063	0,079	0,106	0,118	0,151
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,381	1,360	1,242	1,444	1,458	1,441	1,429	1,494				1,481	1,443	1,493	1,395	1,553
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
% Obstrução	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595
Classe Obstrução	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h10 (m)	0,010	0,010	0,015	0,022	0,021	0,028	0,028	0,028	0,009	0,010	0,009	0,013	0,022	0,025
h10(esc real)cm	11,887	11,887	18,593	26,518	24,689	34,138	34,138						26,213	30,175
velocidade (m/s)	0,401	0,601	0,512	0,449	0,579	0,488	0,558	0,139	0,689	0,762	1,085	0,901	0,636	0,631
N Froude	1,286	1,929	1,315	0,965	1,289	0,925	1,057	0,264	2,369	2,386	3,624	2,505	1,374	1,272
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,007	0,007	0,011	0,015	0,014	0,020	0,020	0,020	0,006	0,007	0,006	0,009	0,015	0,018
R (m)	0,010	0,010	0,015	0,021	0,019	0,026	0,026	0,026	0,008	0,010	0,009	0,013	0,021	0,023
KAR^(2/3)	0,021	0,021	0,043	0,077	0,069	0,116	0,116						0,076	0,095
Q/\sqrt{h}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,345	1,000	1,196	1,450	1,174	1,455	1,349						1,178	1,253
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
% Obstrução	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595	20,595
Classe Obstrução	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1

ANEXO 12 – Cálculos referentes ao cenário h11

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h11 (m)	0,020	0,018	0,024	0,014	0,023	0,031	0,038	0,044	0,052	0,060	0,010	0,019	0,030	0,037	0,044	0,048	0,052
h11 (esc real) cm		21,031	29,261	17,374	28,042	37,186	46,025	52,730	61,874	71,933	11,887	22,860	36,271	43,891	52,426	57,912	62,789
velocidade (m/s)	0,195	0,226	0,244	0,274	0,255	0,256	0,259	0,271	0,269	0,265	0,401	0,312	0,263	0,271	0,272	0,288	0,303
N Froude	0,438	0,546	0,499	0,728	0,532	0,465	0,422	0,413	0,379	0,345	1,286	0,723	0,482	0,453	0,416	0,418	0,424
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,014	0,012	0,017	0,010	0,016	0,022	0,027	0,031	0,036	0,042	0,007	0,013	0,021	0,026	0,031	0,034	0,037
R (m)	0,019	0,017	0,023	0,014	0,022	0,028	0,035	0,039	0,045	0,051	0,010	0,018	0,028	0,033	0,039	0,042	0,046
KAR^(2/3)		0,053	0,091	0,039	0,084	0,133	0,188	0,233	0,301	0,382	0,021	0,061	0,128	0,174	0,231	0,271	0,308
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,643	1,920	1,727	2,044	2,068	2,221	2,247	2,333	2,538	1,219	1,829	2,288	2,361	2,423	2,346	2,424
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433
% Obstrução	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786
Classe Obstrução	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h11 (m)	0,009	0,016	0,030	0,033	0,036	0,046	0,049	0,049	0,009	0,023	0,030	0,036	0,043	0,047
h11(esc real)cm	11,278	19,507	35,662	39,929	42,977	55,474	59,131			27,737	36,271	43,586	51,511	56,998
velocidade (m/s)	0,422	0,366	0,267	0,298	0,332	0,300	0,322	0,081	0,689	0,343	0,328	0,328	0,324	0,334
N Froude	1,391	0,917	0,495	0,522	0,561	0,446	0,464	0,116	2,369	0,721	0,603	0,549	0,499	0,490
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,007	0,011	0,021	0,023	0,025	0,032	0,034	0,034	0,006	0,016	0,021	0,025	0,030	0,033
R (m)	0,009	0,016	0,027	0,030	0,032	0,041	0,043	0,043	0,008	0,022	0,028	0,033	0,038	0,042
KAR^(2/3)	0,019	0,047	0,125	0,150	0,168	0,253	0,280			0,083	0,128	0,172	0,225	0,264
Q/i	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,276	1,641	2,294	2,183	2,043	2,364	2,337			1,936	2,017	2,134	2,315	2,367
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433
% Obstrução	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786
Classe Obstrução	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4

ANEXO 13 – Cálculos referentes ao cenário h12

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h12 (m)	0,024	0,017	0,030	0,019	0,030	0,039	0,045	0,053	0,063	0,068	0,015	0,025	0,038	0,045	0,051	0,060	0,064
h12 (esc real) cm			35,966	22,555	35,662	46,634	54,254	64,008	75,286	81,991	18,288	29,870	45,110	53,950	60,960	72,238	76,810
velocidade (m/s)	0,168	0,230	0,199	0,211	0,200	0,204	0,219	0,223	0,221	0,232	0,260	0,239	0,211	0,221	0,234	0,231	0,248
N Froude	0,349	0,558	0,366	0,492	0,371	0,331	0,330	0,309	0,282	0,284	0,674	0,484	0,348	0,332	0,332	0,300	0,313
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,017	0,012	0,021	0,013	0,021	0,027	0,032	0,037	0,044	0,048	0,011	0,017	0,026	0,031	0,036	0,042	0,045
R (m)	0,022	0,016	0,028	0,018	0,027	0,035	0,040	0,046	0,053	0,057	0,015	0,023	0,034	0,040	0,044	0,051	0,054
KAR^(2/3)			0,126	0,059	0,125	0,192	0,244	0,317	0,410	0,468	0,042	0,094	0,182	0,242	0,294	0,384	0,423
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0			2,360	2,242	2,600	2,593	2,618	2,727	2,839	2,892	1,875	2,390	2,846	2,902	2,817	2,926	2,965
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577
% Obstrução	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h12 (m)	0,015	0,027	0,038	0,042	0,046	0,056	0,061	0,061	0,019	0,033	0,039	0,047	0,053	0,060
h12 (esc real) cm	17,983	32,614	45,720	50,597	54,864	67,361	73,762		23,165	39,014	46,939	56,388	63,703	71,933
velocidade (m/s)	0,265	0,219	0,208	0,235	0,260	0,247	0,258	0,065	0,308	0,244	0,254	0,253	0,262	0,265
N Froude	0,691	0,424	0,341	0,366	0,389	0,334	0,333	0,083	0,709	0,432	0,410	0,373	0,363	0,345
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,010	0,019	0,027	0,030	0,032	0,039	0,043	0,043	0,014	0,023	0,027	0,033	0,037	0,042
R (m)	0,014	0,025	0,034	0,038	0,040	0,048	0,052	0,052	0,018	0,030	0,035	0,041	0,046	0,051
KAR^(2/3)	0,041	0,108	0,186	0,219	0,249	0,344	0,397		0,062	0,144	0,194	0,260	0,315	0,382
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	2,034	2,744	2,941	2,767	2,609	2,870	2,916		2,054	2,723	2,610	2,761	2,863	2,987
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577
% Obstrução	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

ANEXO 14– Cálculos referentes ao cenário h13

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h ₀ (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h ₁₃ (m)	0,020	0,013	0,019	0,014	0,016	0,021	0,030	0,031	0,034	0,051	0,010	0,011	0,018	0,024	0,031	0,032	0,044
h ₁₃ (esc real)cm	23,470	16,154	22,860	16,459	18,898	25,298	36,271	37,795	41,148	60,960	11,582	13,106	21,336	28,956	37,490	38,100	52,426
velocidade (m/s)	0,203	0,295	0,312	0,289	0,378	0,376	0,328	0,378	0,405	0,312	0,411	0,545	0,446	0,411	0,381	0,437	0,363
N Froude	0,463	0,812	0,723	0,789	0,962	0,828	0,603	0,680	0,699	0,443	1,337	1,666	1,069	0,845	0,689	0,784	0,555
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,014	0,009	0,013	0,010	0,011	0,015	0,021	0,022	0,024	0,036	0,007	0,008	0,012	0,017	0,022	0,022	0,031
R (m)	0,019	0,013	0,018	0,013	0,015	0,020	0,028	0,029	0,031	0,044	0,009	0,011	0,017	0,023	0,029	0,029	0,039
KAR ^(2/3)	0,063	0,034	0,061	0,035	0,044	0,071	0,128	0,137	0,157	0,294	0,020	0,024	0,054	0,089	0,135	0,139	0,231
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h ₀	1,000	1,262	1,500	1,636	1,378	1,407	1,750	1,610	1,552	2,151	1,188	1,049	1,346	1,557	1,732	1,543	2,024
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h13 (m)	0,007	0,012	0,014	0,018	0,021	0,026	0,038	0,038	0,010	0,013	0,018	0,022	0,025	0,027
h13 (esc real) cm		14,021	17,069	21,336	25,603	31,699	46,025		12,192	15,240	21,946	26,822	29,870	32,614
velocidade (m/s)	0,558	0,509	0,558	0,558	0,558	0,526	0,414	0,103	0,586	0,625	0,542	0,533	0,558	0,584
N Froude	2,113	1,506	1,494	1,337	1,220	1,033	0,675	0,169	1,857	1,771	1,281	1,138	1,130	1,132
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido
A (m²)	0,005	0,008	0,010	0,012	0,015	0,018	0,027	0,027	0,007	0,009	0,013	0,016	0,017	0,019
R (m)	0,007	0,011	0,014	0,017	0,020	0,025	0,035	0,035	0,010	0,012	0,017	0,021	0,023	0,025
KAR^(2/3)		0,027	0,038	0,054	0,073	0,103	0,188		0,022	0,031	0,057	0,079	0,094	0,108
Q/√i	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0		1,179	1,098	1,167	1,217	1,351	1,819		1,081	1,064	1,220	1,313	1,342	1,354
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 15 – Cálculos referentes ao cenário h14

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h14 (m)	0,021	0,017	0,024	0,015	0,020	0,027	0,033	0,041	0,046	0,054	0,013	0,018	0,025	0,029	0,034	0,040	0,044
h14 (esc real) cm		19,812	28,956	18,593	24,384	32,918	39,624	49,073	55,169	64,313	15,545	21,031	29,566	35,357	40,538	47,549	53,035
velocidade (m/s)	0,188	0,240	0,247	0,256	0,293	0,289	0,300	0,291	0,302	0,296	0,306	0,340	0,322	0,337	0,352	0,351	0,359
N Froude	0,414	0,598	0,507	0,657	0,656	0,558	0,528	0,460	0,450	0,409	0,860	0,820	0,656	0,627	0,612	0,562	0,546
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,015	0,012	0,017	0,011	0,014	0,019	0,023	0,029	0,032	0,038	0,009	0,012	0,017	0,021	0,024	0,028	0,031
R (m)	0,020	0,016	0,023	0,015	0,019	0,025	0,030	0,037	0,041	0,046	0,012	0,017	0,023	0,027	0,031	0,036	0,039
KAR^(2/3)		0,048	0,089	0,043	0,067	0,110	0,148	0,208	0,251	0,320	0,032	0,053	0,092	0,123	0,153	0,198	0,236
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,548	1,900	1,848	1,778	1,831	1,912	2,091	2,080	2,269	1,594	1,683	1,865	1,902	1,873	1,926	2,047
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675
% Obstrução	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h ₀ (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h ₁₄ (m)	0,013	0,016	0,024	0,029	0,034	0,039	0,041	0,041	0,013	0,019	0,026	0,031	0,036	0,040
h ₁₄ (esc real) cm	15,240	19,202	29,261	35,052	41,148	47,244	49,073		15,545	23,165	31,090	37,186	42,672	47,549
velocidade (m/s)	0,312	0,372	0,325	0,340	0,347	0,353	0,388	0,097	0,460	0,411	0,383	0,384	0,391	0,401
N Froude	0,886	0,939	0,666	0,635	0,599	0,568	0,613	0,153	1,290	0,945	0,760	0,697	0,662	0,643
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,009	0,011	0,017	0,020	0,024	0,028	0,029	0,029	0,009	0,014	0,018	0,022	0,025	0,028
R (m)	0,012	0,015	0,023	0,027	0,031	0,035	0,037	0,037	0,012	0,018	0,024	0,028	0,032	0,036
KAR ^{2/3}	0,031	0,046	0,091	0,121	0,157	0,196	0,208		0,032	0,062	0,100	0,133	0,166	0,198
Q/vi	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h ₀	1,724	1,615	1,882	1,917	1,957	2,013	1,940		1,378	1,617	1,729	1,821	1,918	1,975
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675
% Obstrução	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369	96,369
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

ANEXO 16 – Cálculos referentes ao cenário h15

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h15 (m)	0,019	0,013	0,019	0,011	0,016	0,020	0,025	0,030	0,037	0,051	0,009	0,012	0,016	0,021	0,026	0,031	0,040
h15 (esc real) cm		15,850	22,555	13,106	18,898	23,774	30,480	36,271	44,196	60,960	10,973	14,021	18,898	24,689	31,394	36,881	47,549
velocidade (m/s)	0,206	0,300	0,317	0,363	0,378	0,401	0,391	0,394	0,377	0,312	0,434	0,509	0,504	0,482	0,455	0,452	0,401
N Froude	0,473	0,835	0,738	1,111	0,962	0,909	0,783	0,724	0,628	0,443	1,450	1,506	1,283	1,074	0,899	0,823	0,643
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,014	0,009	0,013	0,008	0,011	0,014	0,018	0,021	0,026	0,036	0,006	0,008	0,011	0,014	0,018	0,022	0,028
R (m)	0,018	0,013	0,018	0,011	0,015	0,019	0,024	0,028	0,033	0,044	0,009	0,011	0,015	0,019	0,024	0,028	0,036
KAR^(2/3)		0,033	0,059	0,024	0,044	0,065	0,097	0,128	0,176	0,294	0,018	0,027	0,044	0,069	0,101	0,132	0,198
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,238	1,480	1,303	1,378	1,322	1,471	1,545	1,667	2,151	1,125	1,122	1,192	1,328	1,451	1,494	1,835
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h15 (m)	0,009	0,011	0,012	0,018	0,024	0,026	0,031	0,031	0,010	0,010	0,013	0,018	0,027	0,026
h15 (esc real) cm	10,668	13,716		21,641	28,956	30,785	37,186		11,582			21,641	32,918	30,785
velocidade (m/s)	0,446	0,521	0,651	0,550	0,493	0,541	0,512	0,128	0,617	0,762	0,766	0,660	0,506	0,619
N Froude	1,512	1,556	1,883	1,309	1,015	1,080	0,930	0,232	2,005	2,386	2,149	1,570	0,976	1,234
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido
A (m²)	0,006	0,008	0,009	0,013	0,017	0,018	0,022	0,022	0,007	0,007	0,009	0,013	0,019	0,018
R (m)	0,009	0,011	0,012	0,017	0,023	0,024	0,028	0,028	0,009	0,010	0,012	0,017	0,025	0,024
KAR^(2/3)	0,017	0,026		0,055	0,089	0,098	0,133		0,020			0,055	0,110	0,098
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,207	1,154		1,183	1,377	1,312	1,470		1,027			1,060	1,479	1,278
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

~

ANEXO 17 – Cálculos referentes ao cenário h16

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h16 (m)	0,020	0,014	0,019	0,011	0,018	0,021	0,028	0,032	0,037	0,053	0,008	0,014	0,020	0,024	0,029	0,035	0,038
h16 (esc real) cm		16,764	22,860	13,411	21,031	25,603	34,138	38,405	44,196		10,058	16,459	23,470	28,651	35,357	41,453	46,025
velocidade (m/s)	0,203	0,284	0,312	0,355	0,340	0,372	0,349	0,372	0,377	0,300	0,473	0,434	0,406	0,416	0,404	0,402	0,414
N Froude	0,463	0,768	0,723	1,073	0,820	0,813	0,660	0,664	0,628	0,418	1,652	1,184	0,927	0,859	0,752	0,691	0,675
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,014	0,010	0,013	0,008	0,012	0,015	0,020	0,022	0,026	0,037	0,006	0,010	0,014	0,017	0,021	0,024	0,027
R (m)	0,019	0,013	0,018	0,011	0,017	0,020	0,026	0,029	0,033	0,046	0,008	0,013	0,019	0,022	0,027	0,031	0,035
KAR^(2/3)		0,036	0,061	0,025	0,053	0,073	0,116	0,141	0,176		0,016	0,035	0,063	0,087	0,123	0,159	0,188
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,310	1,500	1,333	1,533	1,424	1,647	1,636	1,667		1,031	1,317	1,481	1,541	1,634	1,679	1,776
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h16 (m)	0,009	0,011	0,020	0,021	0,028	0,033	0,035	0,035	0,010	0,016	0,020	0,023	0,029	0,031
h16 (esc real) cm	10,668	13,716	23,774	24,994	33,223	39,014	41,758		12,192	19,202	23,470	27,127	34,747	37,490
velocidade (m/s)	0,446	0,521	0,401	0,476	0,430	0,427	0,456	0,114	0,586	0,496	0,507	0,527	0,480	0,508
N Froude	1,512	1,556	0,909	1,054	0,826	0,757	0,781	0,195	1,857	1,252	1,159	1,119	0,900	0,918
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,006	0,008	0,014	0,015	0,019	0,023	0,024	0,024	0,007	0,011	0,014	0,016	0,020	0,022
R (m)	0,009	0,011	0,019	0,020	0,026	0,030	0,032	0,032	0,010	0,015	0,019	0,021	0,027	0,029
KAR^(2/3)	0,017	0,026	0,065	0,070	0,111	0,144	0,161		0,022	0,046	0,063	0,080	0,120	0,135
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,207	1,154	1,529	1,367	1,580	1,662	1,651		1,081	1,340	1,305	1,328	1,562	1,557
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
% Obstrução	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190	41,190
Classe Obstrução	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3

ANEXO 18 – Cálculos referentes ao cenário h17

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h17 (m)	0,021	0,015	0,024	0,013	0,022	0,029	0,036	0,042	0,042	0,055	0,010	0,017	0,026	0,033	0,039	0,036	0,049
h17 (esc real) cm		17,678	28,651	15,545	25,908	34,442	43,282	49,987	49,987	66,446	12,497	20,422	31,090	39,014	46,330	42,672	59,131
velocidade (m/s)	0,191	0,269	0,249	0,306	0,276	0,277	0,275	0,286	0,333	0,287	0,381	0,350	0,306	0,305	0,308	0,391	0,322
N Froude	0,422	0,709	0,515	0,860	0,599	0,521	0,463	0,447	0,522	0,389	1,193	0,856	0,608	0,541	0,501	0,662	0,464
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,015	0,010	0,017	0,009	0,015	0,020	0,025	0,029	0,029	0,039	0,007	0,012	0,018	0,023	0,027	0,025	0,034
R (m)	0,020	0,014	0,022	0,012	0,020	0,027	0,033	0,037	0,037	0,048	0,010	0,016	0,024	0,030	0,035	0,032	0,043
KAR^(2/3)		0,040	0,087	0,032	0,074	0,118	0,170	0,214	0,214	0,337	0,022	0,050	0,100	0,144	0,190	0,166	0,280
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,381	1,880	1,545	1,889	1,915	2,088	2,130	1,885	2,344	1,281	1,634	1,962	2,098	2,141	1,728	2,282
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433
% Obstrução	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786
Classe Obstrução	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h17 (m)	0,008	0,014	0,024	0,028	0,036	0,042	0,046	0,046	0,012	0,017	0,023	0,031	0,041	0,045
h17 (esc real) cm	9,449	17,069	29,261	34,138	42,977	50,597	55,169		14,630	20,117	28,042	36,881	49,073	54,254
velocidade (m/s)	0,504	0,418	0,325	0,349	0,332	0,329	0,345	0,086	0,488	0,473	0,425	0,387	0,340	0,351
N Froude	1,814	1,121	0,666	0,660	0,561	0,512	0,514	0,129	1,412	1,168	0,887	0,706	0,536	0,527
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,006	0,010	0,017	0,020	0,025	0,030	0,032	0,032	0,009	0,012	0,016	0,022	0,029	0,032
R (m)	0,008	0,014	0,023	0,026	0,032	0,038	0,041	0,041	0,012	0,016	0,022	0,028	0,037	0,040
KAR^(2/3)	0,014	0,038	0,091	0,116	0,168	0,219	0,251		0,029	0,049	0,084	0,132	0,208	0,244
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0	1,069	1,436	1,882	1,867	2,043	2,156	2,181		1,297	1,404	1,559	1,806	2,205	2,253
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433	0,433
% Obstrução	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786	61,786
Classe Obstrução	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4

ANEXO 19 – Cálculos referentes ao cenário h18

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h18 (m)	0,022	0,017	0,026	0,014	0,022	0,031	0,037	0,042	0,042	0,053	0,010	0,016	0,026	0,034	0,040	0,043	0,052
h18 (esc real) cm		19,812	30,785	16,459	25,908	37,490	44,806	49,987	49,987	63,094		19,507	31,699	40,843	47,549	52,121	61,874
velocidade (m/s)	0,180	0,240	0,232	0,289	0,276	0,254	0,266	0,286	0,333	0,302	0,411	0,366	0,300	0,291	0,300	0,320	0,308
N Froude	0,386	0,598	0,463	0,789	0,599	0,459	0,439	0,447	0,522	0,421	1,337	0,917	0,590	0,505	0,482	0,490	0,433
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,015	0,012	0,018	0,010	0,015	0,022	0,026	0,029	0,029	0,037	0,007	0,011	0,018	0,024	0,028	0,030	0,036
R (m)	0,021	0,016	0,024	0,013	0,020	0,029	0,034	0,037	0,037	0,046	0,009	0,016	0,025	0,031	0,036	0,039	0,045
KAR^(2/3)		0,048	0,098	0,035	0,074	0,135	0,180	0,214	0,214	0,310		0,047	0,103	0,155	0,198	0,229	0,301
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		1,548	2,020	1,636	1,889	2,085	2,162	2,130	1,885	2,226		1,561	2,000	2,197	2,197	2,111	2,388
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478
% Obstrução	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214
Classe Obstrução	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h ₀ (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h ₁₈ (m)	0,009	0,016	0,025	0,030	0,037	0,042	0,048	0,048	0,012	0,022	0,028	0,035	0,041	0,046
h ₁₈ (esc real) cm		19,202	30,480	35,966	43,891	49,987	57,302			25,908	33,833	42,367	49,378	54,864
velocidade (m/s)	0,422	0,372	0,312	0,331	0,325	0,333	0,332	0,083	0,499	0,368	0,352	0,337	0,338	0,347
N Froude	1,391	0,939	0,626	0,611	0,544	0,522	0,486	0,121	1,458	0,799	0,669	0,573	0,532	0,519
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,007	0,011	0,018	0,021	0,026	0,029	0,033	0,033	0,008	0,015	0,020	0,025	0,029	0,032
R (m)	0,009	0,015	0,024	0,028	0,033	0,037	0,042	0,042	0,012	0,020	0,026	0,032	0,037	0,040
KAR ^{2/3}		0,046	0,097	0,126	0,174	0,214	0,266			0,074	0,115	0,165	0,210	0,249
Q/\sqrt{i}	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h ₀		1,615	1,961	1,967	2,087	2,130	2,265			1,809	1,881	2,075	2,219	2,278
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478	0,478
% Obstrução	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214	68,214
Classe Obstrução	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4

ANEXO 20 – Cálculos referentes ao cenário h19

i (m/m)	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Q (m³/h)	10	10	15	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,020	0,011	0,013	0,008	0,011	0,015	0,017	0,020	0,022	0,024	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,022
h19 (m)	0,033	0,027	0,038	0,020	0,034	0,043	0,051	0,060	0,065	0,071	0,008	0,032	0,042	0,049	0,054	0,062	0,066
h19 (esc real) cm		32,004	45,415	24,384	40,234	52,121	60,655	72,542	78,029	85,344		38,405	49,987	58,522	64,922	74,371	78,943
velocidade (m/s)	0,121	0,149	0,157	0,195	0,178	0,183	0,196	0,197	0,214	0,223	0,521	0,186	0,191	0,203	0,220	0,224	0,241
N Froude	0,214	0,291	0,258	0,438	0,310	0,280	0,279	0,256	0,268	0,267	1,906	0,332	0,298	0,294	0,302	0,288	0,301
Tipo de Regime	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,023	0,019	0,026	0,014	0,023	0,030	0,035	0,042	0,046	0,050	0,005	0,022	0,029	0,034	0,038	0,043	0,046
R (m)	0,030	0,025	0,034	0,019	0,031	0,039	0,044	0,052	0,055	0,059	0,007	0,029	0,037	0,043	0,047	0,053	0,055
KAR^(2/3)		0,105	0,184	0,067	0,151	0,229	0,292	0,387	0,433	0,498		0,141	0,214	0,276	0,325	0,402	0,441
Q/vi	0,039	0,028	0,042	0,023	0,034	0,045	0,057	0,068	0,079	0,091	0,020	0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079
h/h0		2,500	2,980	2,424	2,933	2,898	2,926	3,091	2,943	3,011		3,073	3,154	3,148	3,000	3,012	3,047
Q/L	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577
% Obstrução	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

i (m/m)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q (m³/h)	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
h0 (m)	0,007	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,021	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020
h19 (m)	0,007	0,027	0,041	0,048	0,056	0,040	0,065	0,007	0,027	0,036	0,045	0,054	0,061	0,064
h19(esc real)cm		32,309	48,768	57,302	67,056		77,419		32,004	43,586	53,645	65,227	73,152	77,114
velocidade (m/s)	0,558	0,221	0,195	0,208	0,213	0,351	0,246	0,558	0,223	0,219	0,222	0,219	0,228	0,247
N Froude	2,113	0,430	0,309	0,304	0,288	0,562	0,309	2,113	0,437	0,366	0,335	0,300	0,295	0,311
Tipo de Regime	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Rápido	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento	R. Lento
A (m²)	0,005	0,019	0,028	0,033	0,039	0,028	0,045	0,005	0,019	0,025	0,031	0,038	0,043	0,045
R (m)	0,007	0,025	0,036	0,042	0,048	0,036	0,054	0,007	0,025	0,033	0,040	0,047	0,052	0,054
KAR^(2/3)		0,106	0,206	0,266	0,342		0,428		0,105	0,172	0,240	0,327	0,392	0,425
Q/vi	0,018	0,026	0,035	0,044	0,053	0,061	0,070	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064
h/h0		2,718	3,137	3,133	3,188		3,060		2,838	3,043	2,983	3,194	3,288	3,203
Q/L	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016
L Obstrução	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577
% Obstrução	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381	82,381
Classe Obstrução	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5	Classe 5

ANEXO 21 – Medições excluídas por apresentarem valores de $h/h_0 < 1$, por cenário, em função da inclinação e do caudal

Cenário	i(m/m)	Q(m ³ /h)
h5	0,025	10
h6	0,03	10
h7	0,005	10
h8	0,005	10
h8	0,015	10
h8	0,02	10
h8	0,02	15
h8	0,025	10
h8	0,025	15
h8	0,025	20
h8	0,025	25
h8	0,03	10
h8	0,03	15
h8	0,03	20
h8	0,03	25
h9	0,005	10
h9	0,02	15
h9	0,025	15
h9	0,025	30
h9	0,03	15
h9	0,03	25
h9	0,03	30
h10	0,005	10
h10	0,02	10
h10	0,02	15
h10	0,03	15
h10	0,03	20
h10	0,03	25
h10	0,03	30
h11	0,03	15
h13	0,025	10
h15	0,005	10
h15	0,025	20
h15	0,03	20
h15	0,03	25
h19	0,02	10
h19	0,025	10

ANEXO 21 (a) – Percentagens de medições excluídas por apresentarem valores de $h/h_0 < 1$, em função da inclinação e do caudal

40,5%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $Q = 10\text{m}^3/\text{h}$
24,3%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $Q = 15\text{m}^3/\text{h}$
13,5%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $Q = 20\text{m}^3/\text{h}$
13,5%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $Q = 25\text{m}^3/\text{h}$
8,1%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $Q = 30\text{m}^3/\text{h}$
13,5%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $i = 0,005\text{m/m}$
2,7%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $i = 0,015\text{m/m}$
16,2%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $i = 0,020\text{m/m}$
27,0%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $i = 0,025\text{m/m}$
40,5%	das leituras de $h/h_0 < 1$ correspondem a $i = 0,030\text{m/m}$

ANEXO 22 – Regime de escoamento em que se verificou uma maior dispersão de medições para cada cenário

Cenário	Regime com maior dispersão
h1	R. Rápido
h2	R. Rápido
h3	R. Lento
h4	R. Rápido
h5	R. Rápido
h6	R. Rápido
h7	R. Lento
h8	R. Rápido
h9	R. Rápido
h10	R. Rápido
h11	-
h12	-
h13	R. Lento
h14	-
h15	R. Rápido
h16	R. Rápido
h17	R. Lento
h18	-
h19	-

